



TUGAS AKHIR - TM 95502

RANCANG BANGUN ALAT PEMANAS AIR TENAGA SURYA SEDERHANA

RENALDO MAXILLION PARINUSSA
NRP 2113 030 064

Dosen Pembimbing I
Ir. Joko Sarsetiyanto, MT
NIP 19610602 198701 1 001

Dosen Pembimbing II
Ir. Sri Bangun, MT
NIP 19520127 198103 2000

PROGRAM STUDI DIPLOMA III
JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



TUGAS AKHIR - TM 95502

RANCANG BANGUN ALAT PEMANAS AIR TENAGA SURYA SEDERHANA

**RENALDO MAXILLION PARINUSSA
NRP 2113 030 064**

**Dosen Pembimbing I
Ir. Joko Sarsetiyanto, MT
NIP 19610602 198701 1 001**

**Dosen Pembimbing II
Ir. Sri Bangun, MT
NIP 19520127 198103 2000**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA III
JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016**

RANCANG BANGUN ALAT PEMANAS AIR TENAGA SURYA SEDERHANA

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Ahli Madya
pada
Bidang Studi Konversi Energi
Program Studi Diploma III Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
SURABAYA**

Oleh :

RENALDO MAXILLION PARINUSSA

NRP. 2113 030 0064

Disetujui oleh pembimbing Tugas Akhir :



Pembimbing 1

**Ir. Joko Sarsetiyanto, MT
NIP.19610602 198701 1 001**

SURABAYA, 18 JULI 2016

RANCANG BANGUN ALAT PEMANAS AIR TENAGA SURYA SEDERHANA

Nama Mahasiswa : Renaldo Maxillion Parinussa
N.R.P : 2113 030 064
Jurusan : D3 Teknik Mesin FTI – ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Joko Sarsetiyanto, MT.

Abstrak

Indonesia merupakan negara yang sepanjang tahun terkena sinar matahari. Artinya, Indonesia kaya akan sumber energi terbarukan, yaitu energi matahari. Salah satu bentuk pemanfaatan energi matahari adalah untuk memanaskan air pada dalam bentuk alat pemanas air tenaga surya.

Prinsip kerja alat pemanas air tenaga surya yaitu dengan memanfaatkan energi radiasi langsung dari matahari dan radiasi pantulan dari plat bergelombang ke pipa yang dialiri oleh air. Agar panas tidak keluar kelingkungan, digunakan kaca dan glass wool sebagai isolator pada kolektor dan karung goni pada drum penampung air

Dari hasil percobaan, diperoleh bahwa daya yang dapat dihasilkan oleh alat ini sebesar $47287,1685 \text{ J/s}$ dengan *heat loss* yang terjadi pada drum penampung air sebesar $689,1044 \text{ J/s}$. Nilai daya berguna diatas digunakan untuk memanaskan 60 Liter air dengan pompa berkapasitas 1500 L/hr.

Kata Kunci : kolektor, isolator, radiasi, heat loss

DESIGN OF SIMPLE SOLAR WATER HEATER SYSTEM

Nama Mahasiswa : Renaldo Maxillion Parinussa
N.R.P : 2113 030 064
Jurusan : D3 Teknik Mesin FTI – ITS
Dosen Pembimbing : Ir. Joko Sarsetiyanto, MT.

Abstract

Indonesia is the country which get sunlight almost along the year. This means that Indonesia is rich of renewable energy source, solar energy. One of the way using the solar energy is to heat water in the solar water heater system.

The working principle of solar water heater system is the water which through inside the pipe absorbing the heat from solar radiation directly from the sun and from the reflection of the plate. So that the heat don't go outside to the environmet, glass and glass wool is use as an insulator in collector and gunny sack in water tank.

From the test, it's can produce power up to $47287,1685 \text{ J/s}$ and the heat loss of the drum is $689,1044 \text{ J/s}$. The Value of usefull heat gain (the power that produced) is used to heat the water with capacity of 60 Liter with 1500 L/hr pump capacity

Key word : Collector, insulator, radiation, heat loss

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
ABSTRAK.....	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan masalah	2
1.3 Batasan masalah.....	2
1.4 Tujuan Penulisan.....	2
1.5 Manfaat Penulisan.....	2
1.6 Sistematika penulisan.....	3

BAB II DASAR TEORI

2.1 Kajian Pustaka	4
2.1.1 Penelitian Hollands.....	4
2.1.2 Penelitian Jong Ho Lee dan Kawan-Kawan.....	4
2.1.3 Penelitian Wang Shing An	5
2.2 Asas Black	6
2.3 Perpindahan Panas Radiasi	6
2.4 Radiasi Matahari	8
2.4.1 Konstanta Matahari	9
2.4.2 Geometri Radiasi Surya.....	10
2.5 Radiasi Luar Angkasa Pada Permukaan Horizontal	13
2.6 Radiasi Matahari Langsung dan Radiasi Matahari Difuse....	14
2.6.1 Intensitas Matahari Langsung.....	14
2.6.2 Intensitas Matahari Difuse.....	14
2.7 Radiasi Total pada Permukaan Miring Tetap.....	15
2.8 Kolektor Surya Plat Bergelombang	16
2.8.1 Bagian Utama Kolektor Surya Plat Datar	16

2.8.2 Radiasi Optik pada Kolektor Surya Plat Gelombang	17
2.8.2.1 Properti radiasi Gabungan antara Kaca dan Plat Penyerap.....	17
2.8.2.2 Penyerap Radiasi oleh Plat Bergelombang	18
2.8.2.3 Faktor Bentuk pada Radiasi Pantulan	19
2.8.3 Keseimbangan Energi pada Kolektor Surya Plat Bergelombang	20
2.9 Isolator Panas.....	20
2.10 Alat Ukur Temperatur	22
2.10.1 Thermometer Infrared	22
2.10.2 Termokopel	24

BAB III METODOLOGI

3.1 Persiapan Awal	26
3.2 Kriteria Perencanaan	26
3.2.1 Kolektor Surya Plat Bergelombang	27
3.2.2 Instalasi Perpipaan.....	29
3.2.3 Drum Penampung Air.....	31
3.2.4 Pompa.....	32
3.3 Penentuan Dimensi	32
3.4 Prosedur Pembuatan Alat	33
3.5 Diagram Alir Tugas Akhir.....	35

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan Panjang Pipa.....	37
4.2 Analisa Intensitas Radiasi Matahari	37
4.3 Analisa Sudut Jam Matahari	38
4.4 Analisa Sudut Datang Matahari	38
4.5 Sudut Datang Bidang Horizontal	39
4.6 Radiasi Matahari Extraterrestrial Bidang Horizontal	39
4.7 Intensitas Matahari Langsung dan Intensitas Matahari Difuse.....	40
4.7.1 Intensitas Matahari Langsung	40
4.7.2 Intensitas Matahari Difuse	41
4.8 Intensitas Matahari Total yang Diterima oleh Permukaan Bumi.....	41
4.9 Data Hasil Percobaan.....	42

4.10 Intensitas Radiasi Matahari yang Diterima oleh Plat Absorber Kolektor.....	44
4.10.1 Koefisien Perpindahan Panas Radiasi dari Kaca ke Udara	45
4.10.2 Koefisien Perpindahan Panas Radiasi dari Plat ke Kaca.....	45
4.10.3 Perhitungan Koefisien Kehilangan Perpindahan Panas Total pada Kolektor Surya	45
4.11 Perhitungan Energi Berguna (Q_s) dan Heat Loss (Q_L).....	46
4.11.1 Perhitungan Energi Berguna (Q_s)	46
4.11.2 Perhitungan Heat Loss (Q_L).....	48

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan	51
5.2 Saran.....	51

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Table 2.1 Faktor Bentuk pada Radiasi Pantulan.....	19
Table 4.1 Temperatur Pipa pada Percobaan I.....	42
Tabel 4.2 Temperatur Plat pada Percobaan II	43
Tabel 4.3 Temperatur Pipa pada Percobaan I.....	43
Tabel 4.4 Temperatur Plat pada Percobaan II	44

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Proses Pemantulan Berulang pada Plat Bergelombang	4
Gambar 2.2	Pengaruh Sudut Insiden pada Radiasi Matahari	5
Gambar 2.3	Tube and Sheet Collector.....	6
Gambar 2.4	Corrugated Sheet Collector.....	6
Gambar 2.5	Metode perpindahan panas	7
Gambar 2.6	Laju Perpindahan Panas Radiasi.....	7
Gambar 2.7	Hubungan Ruang Matahari-Bumi.....	9
Gambar 2.8	Sudut-sudut Matahari dengan Permukaan Bumi	11
Gambar 2.9	Sudut Datang Matahari Belahan Bumi Utara	12
Gambar 2.10	Penyebaran Radiasi pada Plat Bergelombang	17
Gambar 2.11	Glasswool Sebagai Isolator Panas	22
Gambar 2.12	Thermometer Infrared.....	22
Gambar 2.13	Thermocouple	24
Gambar 2.14	Cara Kerja Termokopel	25
Gambar 3.1	Casing Luar Kolektor Surya	27
Gambar 3.2	Kaca sebagai Penutup Transparan	28
Gambar 3.3	Plat Kolektor.....	28
Gambar 3.4	Glass Wool dan Karung Goni sebagai Insulator.....	29
Gambar 3.5	Pipa Besi	30
Gambar 3.6	Instalasi Pipa PVC Bagian Bawah dan Bagian Atas .	31
Gambar 3.7	Drum Penampung Air	31
Gambar 3.8	Pemanas Air Tenaga Surya.....	33
Gambar 4.1	Kontrol Volume pada Alat Pemanas Air	46
Gambar 4.2	Faktor Bentuk pada Kolektor.....	47
Gambar 4.3	Heat Loss pada Dinding Drum	48
Gambar 4.4	Heat Loss pada bagian Tutup Atas Drum	49

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Daya berguna yang mampu dihasilkan oleh *solar water heater* ini sebesar 47287,1685 J/s. Dengan mengasumsikan Temperatur air sama dengan Temperatur pipa, maka didapat pula *heat loss* yang terjadi adalah sebesar 689,1044 J/s. Nilai daya berguna diatas digunakan untuk memanaskan 60 Liter air dengan pompa berkapasitas 1500 lt/hr.

5.2 Saran

Adapun saran untuk pengembangan *solar water heater* agar lebih maksimal adalah:

- Memperbesar dimensi plat seng yang digunakan sehingga dimensi pipa besi bisa lebih panjang dan laluan menjadi lebih banyak. Dengan demikian, penyerapan panas yang dipantulkan oleh seng akan menjadi lebih optimal dan meningkatkan efisiensi.
- Penambahan mekanisme finn disekitar pipa sehingga panas yang diserap lebih optimal dan memakan waktu yang lebih sebentar.
- Menggunakan kaca 3mm untuk mendapat penyerapan kalor kedalam kolektor surya yang lebih maksimal.
- Perbaiki instalasi pipa besi dengan mengganti siku menjadi elbow untuk meminimalisir *heat loss* pada saat air disirkulasikan melalui pipa besi.
- Drum penampung air diletakkan dibawah kolektor surya agar lebih menghemat tempat.

DAFTAR PUSTAKA

1. Wirapraja, Edo. 2012. *Analisis Kinerja Pemanas Air Menggunakan Kolektor Surya Plat Datar Dengan Satu Kaca Penutup*. ITS, Surabaya.
2. Astuti, Puji. 2010. *Desain Sistem Pemanas Air Menggunakan Radiasi Sinar Matahari*. UIN, Malang.
3. Burhanuddin, Auliya. 2006. *Karakteristik Kolektor Surya Plat Datar dengan Variasi Jarak Kaca Penutup dan Sudut Kemiringan Kolektor*. UNS, Surakarta.
4. Gunerhan, Huseyin. *Thermal Analysis of a Flat-Plate Solar Collectors in Parallel and Series Connections*. Ege University, Turkey
5. Muharto. Astuti, Ana Dwi dan Luvita, Veny. *Efektivitas Penyerapan Panas Sinar Matahari oleh Air yang Mengalir dalam Pipa*. FTI-ITS, Surabaya.
6. Kalogirou, Soteris A. 2009. *Solar Energy Engineering, Process and System*. San Diego.
7. Incorpera and David P. Dewitt. 1996. *Fundamental of Heat and Mass Transfer*. Seventh Edition.

BIODATA PENULIS



Penulis tugas akhir ini bernama Renaldo Maxillion Parinussa. Tugas Akhir ini diselesaikan sebagai persyaratan untuk kelulusan D-III di Teknik Mesin ITS. Penulis dilahirkan di Surabaya, 17 Mei 1995, merupakan anak pertama dari dua bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu TK Pertiwi Surabaya, SDN Kertajaya XIII Surabaya, SMP Negeri 1 Surabaya, dan SMA Negeri 2 Surabaya. Pada tahun

2013 Penulis diterima di Jurusan D-III Teknik Mesin FTI-ITS dan terdaftar sebagai mahasiswa dengan NRP 2112 030 064. Konversi Energi merupakan bidang studi yang dipilih penulis dalam pengerjaan Tugas Akhir.

Selama duduk di bangku kuliah penulis aktif mengikuti kegiatan perkuliahan. Penulis juga pernah mengikuti berbagai kegiatan dan bergabung dalam organisasi. Kegiatan yang pernah diikutinya antara lain : Pers FTI ITS sebagai Pimpinan Redaksi., Kabirol kejournalistikan departemen kominfo HMDM pada periode 2015-2016 dan ketua Natal-Paskah PMK ITS 2015-2016

Pelatihan yang pernah diikuti penulis : LKMM Pra-TD FTI-ITS (2013), LKMM TD HMDM FTI-ITS (2014), PP-LKMM FTI ITS (2014) dan Pelatihan karya tulis ilmiah HMDM FTI-ITS (2013)

E-mail : maxillion17@gmail.com

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dewasa ini persediaan sumber energi fosil seperti minyak bumi dan batubara mulai menipis. Bahkan salah satu guru besar ITS menyatakan bahwa bahan bakar ini diprediksi akan habis 30 tahun lagi. Sumber energi fosil ini selain memerlukan waktu yang lama untuk terbentuk kembali, juga menghasilkan zat – zat pencemar lingkungan yang ditimbulkan dari proses konversi energinya. Oleh karena itu, timbul pemikiran bahwa inovasi-inovasi mengenai pemanfaatan energi terbarukan sangatlah perlu. Salah satu jenis energi terbarukan adalah energi matahari.

Di Indonesia, berdasarkan penghitungan Badan Meteorologi dan Geofisika (BMKG) diperkirakan besar radiasi yang menyinari Indonesia khususnya daerah timur rata-rata sebesar 5,1 kWh/m² dalam sehari. Nilai itu begitu luar biasa, semenjak itu Indonesia mulai menaruh perhatian akan sumber energi yang satu ini. Salah satu bentuk pemanfaatan energi matahari ini adalah dengan pembuatan alat pemanas air tenaga surya.

Pemanas air energi matahari atau yang lebih dikenal dengan *solar water heater system* akhir-akhir ini banyak diperbincangkan. Selain sumber energinya sangat cocok digunakan di Indonesia, sistem ini juga hemat listrik dan lebih aman serta sederhana dibandingkan dengan pemanas menggunakan energi lain. Cara kerja pemanas air tenaga surya adalah dengan memanfaatkan radiasi matahari langsung dan pantulan dari plat ke pipa yang dialiri oleh air selama selang waktu tertentu. Dengan demikian air yang terus menerus disirkulasikan akan mengalami kenaikan temperatur.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah pada tugas akhir ini adalah:

1. Berapa energi berguna yang dihasilkan oleh alat pemanas air tenaga surya sederhana yang telah dirancang?
2. Berapa heat loss yang terjadi pada drum penampung air?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Energi berasal dari radiasi sinar matahari.
2. Alat dibuat dalam bentuk prototype.
3. Pengambilan data diambil selama rentang waktu 08.00 – 16.00
4. konveksi ke lingkungan diabaikan.

1.4 Tujuan Penulisan

Tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah untuk mengetahui energi berguna yang dapat dihasilkan oleh pemanas air tenaga surya yang telah dirancang dan heat loss yang terjadi pada drum penampung air yang telah diisolasi.

1.5 Manfaat Penulisan

Manfaat dari penulisan tugas akhir ini adalah:

1. Bagi Penulis
Hasil penulisan tugas akhir ini bermanfaat dalam menambah wawasan penulis terhadap pemanfaatan energi matahari dalam bentuk sistem pemanas air.
2. Bagi Pihak lain
Hasil penulisan tugas akhir ini dapat menjadi referensi bagi pengembangan alat pemanas air tenaga surya berikutnya.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

Bab I PENDAHULUAN

Pada bab pendahuluan berisi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penulisan, manfaat penulisan dan sistematika penulisan.

Bab II DASAR TEORI

Bab ini memuat tentang penelitian-penelitian terdahulu serta teori-teori yang menjadi dasar dari rancang bangun alat pemanas air tenaga surya dan perpindahan panasnya.

Bab III METODOLOGI RANCANG BANGUN

Bab ini memuat prosedur rancang bangun dan desain awal yang meliputi dimensi dan daftar komponen dari pemanas air tenaga surya. Semua itu dirangkum dalam diagram alir proses penulisan tugas akhir secara umum.

Bab IV PERHITUNGAN

Bab ini memuat tentang perhitungan-perhitungan panjang pipa, radiasi matahari yang diterima bumi, radiasi matahari yang diterima kolektor surya, Daya berguna yang dapat dihasilkan untuk memanaskan air.

Bab V PENUTUP

Bab ini berisikan kesimpulan dan saran.

LAMPIRAN

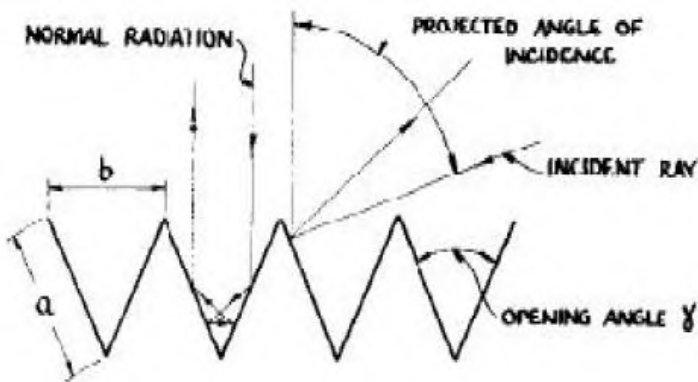
BAB II DASAR TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Beberapa penelitian terdahulu terkait dengan penggunaan kolektor surya sebagai pemanas air tenaga matahari adalah sebagai berikut:

2.1.1 Penelitian Hollands (1965)

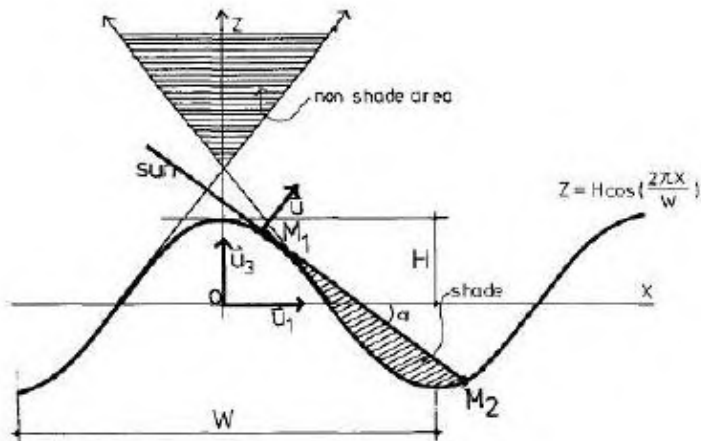
Dengan menggunakan pelat absorber gelombang akan meningkatkan absorbtivitas pelat terhadap radiasi matahari. Dengan adanya bentuk gelombang sinar matahari yang mengenai pelat absorber sebagian dipantulkan ke kaca dan sebagian lagi ke pelat gelombang di sebelahnya.



Gambar 2.1 Proses Pemantulan Berulang pada Plat Bergelombang

2.1.2 Penelitian Jong Ho Lee dan Kawan-Kawan (1986)

Pada eksperimen ini besarnya radiasi matahari sebagai *moving source* yang diterima oleh pelat bergantung pada *incident angle* yang terjadi pada permukaan gelombang plat.



Gambar 2.2 Pengaruh Sudut Insiden pada Radiasi Matahari

2.1.3 Penelitian Wang Shing An (1979)

Menganalisa perpindahan panas dan melakukan pengujian dengan menggunakan kolektor pelat absorber gelombang dari baja dengan ketebalan 0.8 mm untuk mengurangi kehilangan panas ke atas menggunakan cover ganda.

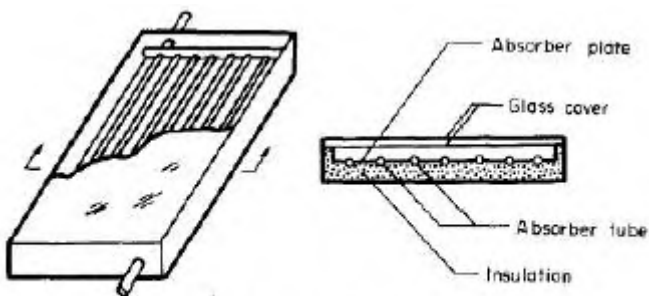


Fig. 1. Tube and sheet collector.

Gambar 2.3 Tube and Sheet Collector

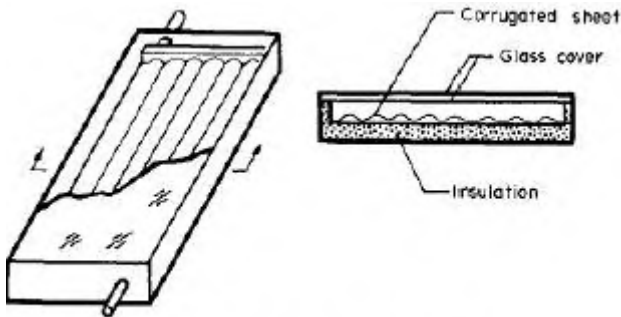


Fig. 2. Corrugated sheet collector.

Gambar 2.4 Corrugated Sheet Collector

2.2 Asas Black

Ketika suatu benda melepas panas ke sekitarnya, $Q < 0$. Ketika benda menyerap panas dari sekitarnya, $Q > 0$. Jumlah panas, kecepatan penyaluran panas, dan fluks panas semua disimbolkan dengan perbedaan permutasi huruf Q . Mereka biasanya diganti dalam konteks yang berbeda. Jumlah panas dinotasikan sebagai Q , dan diukur dalam joule dalam satuan SI.

$$Q = m c \Delta T \quad (2.1)$$

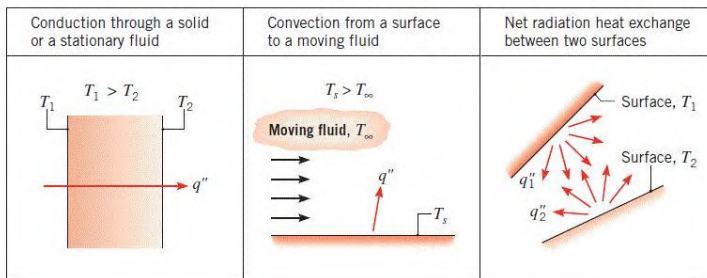
Hukum asas black berbunyi “Jumlah kalor yang dilepas oleh materi yang bersuhu lebih tinggi akan sama dengan jumlah kalor yang diterima oleh materi yang suhunya lebih rendah” atau disederhanakan sebagai kalor yang dilepas akan sama dengan kalor yang diterima.

2.3 Perpindahan Panas Radiasi

Perpindahan panas (*heat transfer*) adalah proses berpindahnya energi kalor atau panas (*heat*) karena adanya perbedaan temperatur. Dimana, energi kalor akan berpindah dari temperatur media yang lebih tinggi ke temperatur media yang lebih rendah. Proses perpindahan panas akan terus

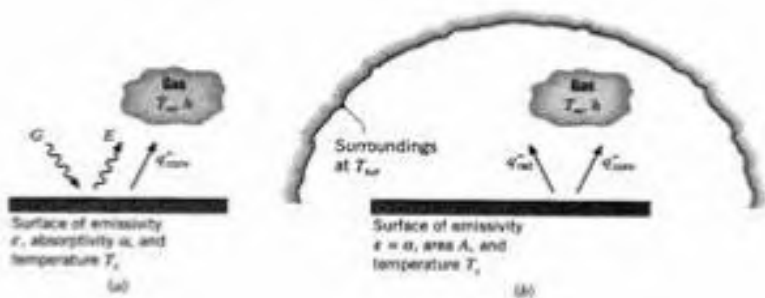
berlangsung sampai ada kesetimbangan temperatur yang terjadi pada kedua media tersebut. Proses terjadinya perpindahan panas dapat terjadi secara konduksi, konveksi, dan radiasi.

$$Q_{diterima} = Q_{dilepaskan} \quad (2.2)$$



Gambar 2.5 Metode perpindahan panas

Perpindahan panas radiasi dapat dikatakan sebagai proses perpindahan panas dari satu media ke media lain akibat perbedaan temperatur tanpa memerlukan media perantara. Peristiwa radiasi akan lebih efektif terjadi pada ruang hampa, berbeda dari perpindahan panas konduksi dan konveksi yang mengharuskan adanya media perpindahan panas.



Gambar 2.6 Laju perpindahan panas radiasi

Radiasi yang dipancarkan oleh permukaan berasal dari energi termal yang dibatasi oleh suatu permukaan. Perpindahan panas radiasi terjadi tanpa melalui suatu media perantara dan perpindahan panas ini dapat terjadi pada ruang hampa (vakum).

Kekuatan energi yang dilepaskan setiap luasan menurut Stefan-Boltzman pada permukaan hitam yaitu:

$$E_b = \sigma \times T_s^4 \quad (2.3)$$

Dimana:

- σ = Konstanta Boltzman
($5,678 \times 10^{-8} \frac{W}{m K^4}$)
- T_s = Temperatur Permukaan ($^{\circ}C$)

Dalam kenyataanya, temperatur permukaan berbeda dengan temperatur sekitar. Radiasi yang dipancarkan oleh suatu permukaan nyata akan lebih kecil dari persamaan diatas, karena itu, untuk permukaan nyata harus dikalikan dengan suatu faktor yang disebut *emisivitas* (ε). Sehingga panas yang diradiasikan setiap luasan adalah:

$$q'' = \varepsilon \sigma (T_s^4 - T_{sur}^4) \quad (2.4)$$

Dimana:

- q'' = Panas nyata yang diradiasikan per satuan luas permukaan ($\frac{W}{m^2}$)
- ε = Emisivitas fluida
- T_{sur} = Temperatur lingkungan sekitar ($^{\circ}C$)

2.4 Radiasi Matahari

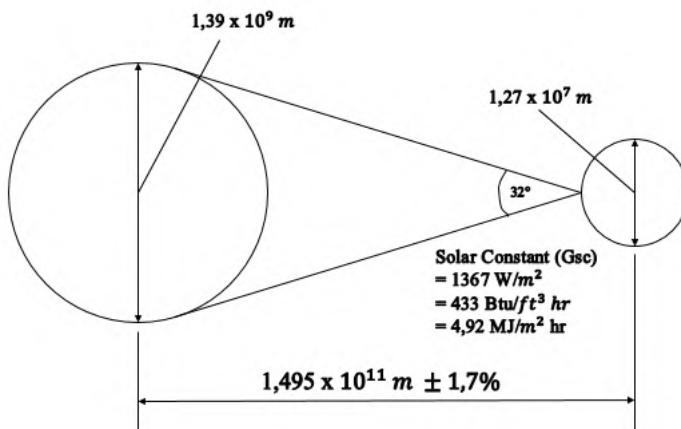
Energi matahari adalah dapat dinikmati oleh bumi dalam bentuk radiasi matahari, namun satu tempat dengan tempat lainnya tidak memiliki jumlah energi yang sama. Hal ini

dipengaruhi oleh beberapa faktor. Diantaranya adalah sebagai berikut

2.4.1 Konstanta Matahari

Jarak rata-rata antara matahari dan bumi yaitu $1,495 \times 10^{11}$ m. Hubungan geometri matahari-bumi diperlihatkan pada gambar 2.5. Radiasi yang dipancarkan matahari menghasilkan intensitas radiasi diluar atmosfer yang mendekati konstan. Konstanta matahari (G_{sc}) adalah energi yang dipancarkan matahari tiap satuan waktu yang diterima oleh suatu luasan permukaan yang tegak lurus arah perambatan radiasi pada suatu satuan astronomi diluar atmosfer.

Berbagai pengukuran radiasi matahari dilakukan dengan bermacam alat ukur, diantaranya oleh Frochlich (1977) yang merekomendasikan harga G_{sc} sebesar 1373 W/m^2 dengan kemungkinan kesalahan 1 – 2 %. World Radiation Center (WRC) mengambil harga sebesar 1367 W/m^2 dengan ketelitian 1%.



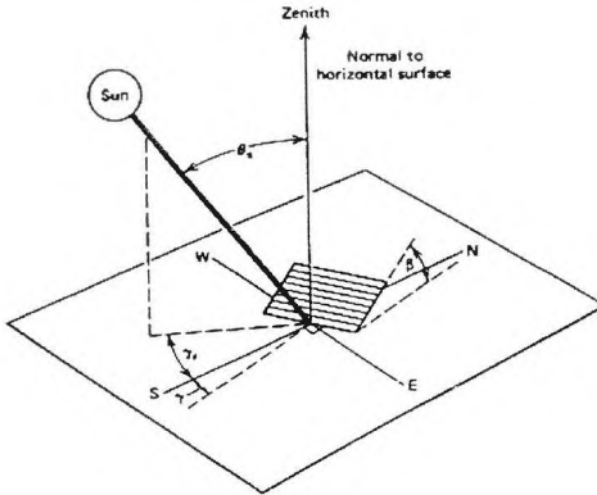
Gambar 2.7 Hubungan ruang Matahari – Bumi

2.4.2 Geometri Radiasi Surya

Lokasi dan kemiringan permukaan menentukan besarnya sudut datang radiasi surya pada permukaan tersebut. Hubungan antara suatu permukaan dengan radiasi surya yang datang dapat digambarkan dengan beberapa istilah yang diwakili oleh simbol-simbol sudut dibawah ini:

- Φ = Sudut lintang merupakan sudut lokasi permukaan terhadap ekuator, dimana untuk arah Utara diberi tanda positif, $-90^\circ \leq \Phi \leq 90^\circ$.
- δ = Sudut deklinasi matahari terhadap garis zenith di ekuator pada saat jam 12.00 waktu matahari atau letak sudut kemiringan bumi-matahari akibat rotasi bumi pada arah sumbu axis bumi-matahari. Untuk arah Utara diberi tanda positif, $-23,45^\circ \leq \delta \leq 23,45^\circ$.
- β = Sudut kemiringan, yaitu sudut antara permukaan bidang yang dimaksud dengan bidang horizontal, $-180^\circ \leq \beta \leq 180^\circ$.
- γ = Sudut azimuth permukaan, yaitu sudut antara proteksi dan arah normal permukaan pada bidang horizontal dengan garis meridian, (titik nol diselatan, kearah Timur bertanda negatif, kearah Barat bertanda positif), $-180^\circ \leq \gamma \leq 180^\circ$.
- θ = Sudut insiden datang-timpa, yaitu sudut antara radiasi langsung pada permukaan dengan arah normal dan permukaan tersebut.
- θ_z = Sudut zenith matahari, yaitu sudut antara radiasi langsung dan matahari dengan garis normal bidang horizontal.
- α = Sudut ketinggian matahari, yaitu sudut antara radiasi langsung dan matahari dengan bidang horizontal.
- ω = Sudut jam, yaitu perpindahan sudut dan matahari ke arah Timur atau Barat dari garis bujur lokal akibat rotasi bumi pada axisnya sebesar 15 tiap jam (harga nol

tepat pada jam 12.00 waktu matahari, kearah pagi bertanda positif, kearah petang bertanda negatif).



Gambar 2.8 Sudut-sudut Matahari dengan Permukaan Bumi

Sudut deklinasi (δ) dapat ditentukan dengan persamaan Cooper (1969), sebagai berikut:

$$\delta = 23,45 \sin \left(360 \times \frac{284+n}{365} \right) \quad (2.5)$$

dimana n adalah nomor urut tanggal dalam satu tahun, dimulai $n = 1$ pada tanggal 1 Januari dan seterusnya. Sedangkan sudut datang matahari menurut Beckman ditulis sebagai berikut:

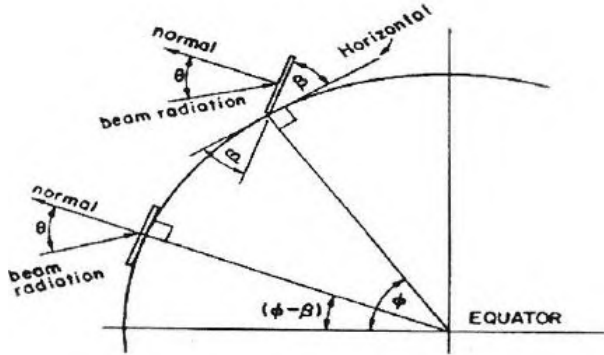
$$\cos \theta = (\sin \delta \sin \Phi \cos \beta) - (\sin \delta \cos \Phi \sin \beta \cos \gamma) + (\cos \delta \cos \Phi \cos \beta \cos \omega) +$$

$$(\cos\delta \sin\Phi \sin\beta \cos\gamma \cos\omega) + (\cos\delta \sin\beta \sin\gamma \sin\omega) \quad (2.6)$$

Untuk suatu permukaan horizontal dimana $\beta = 0$, maka persamaan 2.10 menjadi:

$$\cos\theta_z = (\sin\delta \sin\Phi) + (\cos\Phi \cos\omega) \quad (2.7)$$

Untuk sudut datang pada permukaan yang menghadap kearah utara atau selatan dengan kemiringan tertentu, hubungan ini dapat dilihat pada gambar 2.7. Sudut datang matahari untuk belahan bumi utara:



Gambar 2.9 Sudut Datang Matahari Belahan Bumi Utara

$$\cos\theta = \cos(\Phi + \beta) \cos\delta \cos\omega + \sin(\Phi - \beta) \sin\delta \quad (2.8)$$

Sedangkan untuk belahan bumi selatan, dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\cos\theta_z = \cos(\Phi + \beta) \cos\delta \cos\omega + \sin(\Phi - \beta) \sin\delta \quad (2.9)$$

Sudut jam matahari terbenam (ω_s), dapat dirumuskan sebagai:

$$\begin{aligned} \cos\omega_s &= -\frac{\sin\phi \sin\delta}{\cos\phi \cos\delta} \\ \cos\omega_s &= -\tan\phi \tan\delta \end{aligned} \quad (2.10)$$

2.5 Radiasi Luar Angkasa pada Permukaan Horizontal

Radiasi luar angkasa atau bisa disebut radiasi ekstraterestrial merupakan radiasi surya diluar bumi. Menghitung radiasi ekstraterestrial akan berguna untuk mengetahui besarnya radias matahari langsung dan radiasi matahari difuse (sebaran). Radiasi surya yang diterima oleh suatu permukaan horizontal diluar atmosfer bumi pada kondisi dimana arah rambatan radiasi tegak lurus bidang permukaan, oleh Beckman dirumuskan sebagai:

$$G_o = G_{sc} \left[1 + 0,033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right] \cos\theta_z \quad (2.11)$$

Dimana G_{sc} adalah konstanta matahari dan n menyatakan urutan hari. Dengan mensubstitusikan persamaan (θ_z) kedalam persamaan diatas, maka diperoleh:

$$G_o = G_{sc} \left[1 + 0,033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right] (\cos\phi \cos\delta \cos\omega + \sin\phi \sin\delta) \quad (2.12)$$

Perhitungan radiasi surya harian seringkali diperlukan, maka persamaan (2.16) dapat diintegrasikan selama periode matahari terbit hingga terbenam. Maka radiasi matahari harian menurut persamaan yang diberikan Beckman menjadi:

$$G_o = \frac{24 \times 3600}{\pi} G_{sc} \left[1 + 0,033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right] \times \left[\cos\phi \cos\delta \cos\omega + \frac{\pi \omega_s}{180} \sin\phi \sin\delta \right] \quad (2.13)$$

Dimana sidit jam matahari terbenam (ω_s), dinyatakan dalam derajat. Sedangkan besarnya radiasi extraterrestrial setiap jam untuk suatu bidang horizontal dirumuskan oleh Beckman dengan persamaan:

$$I_o = \frac{12 \times 3600}{\pi} G_{sc} \left[1 + 0,033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right] x \left[\cos \Phi \cos \delta (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) + \frac{\pi (\omega_2 - \omega_1)}{180} \sin \Phi \sin \delta \right] \quad (2.14)$$

2.6 Radiasi Matahari Langsung dan Radiasi Matahari Difuse

Intensitas matahari yang menuju kolektor dibagi menjadi dua yaitu ada yang secara langsung dan ada pula yang melalui sebaran radiasi matahari di atmosfer (difuse).

2.6.1 Intensitas Matahari Langsung (I_b)

Besar intensitas matahari langsung (I_b) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$I_b = H_o(1 - k) \quad (2.15)$$

K merupakan perbandingan intensitas radiasi matahari ekstraterrestrial (I_o) dengan intensitas radiasi total yang diterima permukaan (H_o) yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$k = \frac{I_o}{H_o} \quad (2.16)$$

2.6.2 Intensitas Matahari Difuse (I_d)

Intensitas matahari difuse dapat dihitung dengan mengurangi radiasi total yang diterima permukaan bumi dengan radiasi langsung.

$$I_d = H_o - I_b \quad (2.17)$$

2.7 Radiasi Total pada Permukaan Miring Tetap

Permukaan pengumpul radiasi surya plat datar menyerap baik radiasi langsung maupun radiasi difusi. Radiasi yang datang pada suatu permukaan miring dapat diperkirakan dengan suatu faktor geometrik (R), yang menyatakan perbandingan radiasi total yang jatuh pada permukaan miring terhadap radiasi yang diterima apabila pada posisi horizontal

$$R = \frac{I_T}{I} \quad (2.18)$$

Faktor geometrik R dapat diimplementasikan pada komponen radiasi langsung maupun difusi, sehingga persamaan 2.22 menjadi:

$$R = \frac{I_{bT}}{I_b} \text{ dan } R = \frac{I_{dT}}{I_d} \quad (2.19)$$

Sehingga faktor geometrik R dapat dinyatakan dalam:

$$R = \frac{I_b}{I} R_b + \frac{I_d}{I} R_d \quad (2.20)$$

Dimana I_b adalah radiasi langsung, I_d adalah radiasi difuse, dan T adalah posisi dalam keadaan miring. Dalam hubungan dengan geometri radiasi surya, R_b dapat ditetapkan dengan persamaan:

$$R_b = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z} \quad (2.21)$$

Liu dan Jordan (1963) mengembangkan suatu model radiasi total pada permukaan miring yang terdiri atas tiga komponen yaitu radiasi langsung, radiasi difusi dan radiasi

yang dipantulkan secara difusi dan tanah. Jadi radiasi surya tital pada permukaan yang membentuk sudut β adalah:

$$I_T = I_b R_b + I_d \left(\frac{1+\cos\beta}{2} \right) + (I_b + I_d) \rho_g \left(\frac{1-\cos\beta}{2} \right) \quad (2.22)$$

Dimana nilai ρ_g adalah faktor pemantulan radiasi permukaan sekeliling, dimana harga $\rho_g = 0,2$ digunakan untuk keadaan sekeliling yang tak bersalju dan $\rho_g = 0,7$ digunakan bila permukaan sekeliling diliputi salju.

2.8 Kolektor Surya Plat Bergelombang

Radiasi yang menimpa permukaan tutup transparan kolektor surya plat bergelombang, sebagian besar menembus penutup kolektor dan diserap plat bergelombang yang bertindak sebagai pengumpul energi. Energi yang telah dikumpulkan plat ini kemudian dipancarkan dalam bentuk radiasi keruangan kolektor. Radiasi terpancar ini ketika mengenai kaca, sebagian akan dipantulkan kembali dan sebagian keluar dari kaca (rugi-rugi). Dengan adanya radiasi dari pantulan plat dan radiasi langsung dari matahari (bagian atas) maka udara didalam ruang kolektor akan memiliki temperatur yang lebih tinggi daripada lingkungan sekitar untuk memanaskan air yang melalui pipa.

2.8.1 Bagian utama Kolektor Surya Plat Datar

Secara umum, kolektor surya plat datar terdiri atas bagian utama, sebagai berikut:

- a) Plat penyerap, berfungsi untuk menyerap energi radiasi matahari yang diteruskan oleh penutup (kaca) transparan. Bahan plat yang digunakan adalah seng yang memiliki konduktivitas tinggi. Biasanya permukaan plat dicat hitam buram untuk meningkatkan kemampuan penyerapan panasnya.

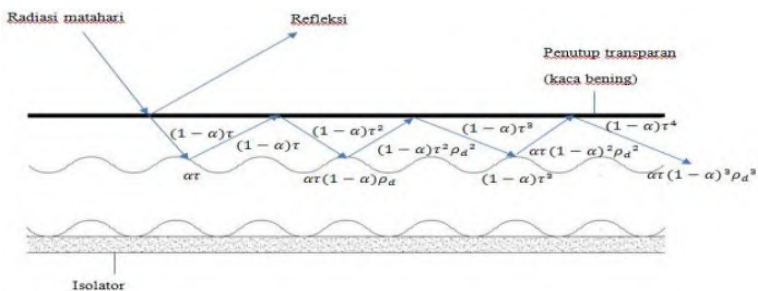
- b) Kaca transparan, berfungsi untuk meneruskan radiasi matahari sekaligus mengurangi kehilangan panas konveksi dan radiasi ke sekitar.
- c) Pipa, pipa digunakan sebagai tempat mengalirnya air yang akan dipanaskan. Pipa akan menerima panas hasil pantulan radiasi dari plat dan radiasi matahari setelah melalui kaca. Bahan pipa yang digunakan adalah pipa besi.
- d) Insulator, yaitu alat penyekat yang memiliki nilai konduktivitas yang sangat rendah. Fungsinya sebagai penyekat untuk meminimalisir kehilangan panas pada bagian bawah dan samping kolektor.

2.8.2 Radiasi Optik pada Kolektor Surya Plat Gelombang

Radiasi yang diterima oleh kolektor surya tergantung dari beberapa faktor, diantaranya adalah properti kaca, properti plat, jenis plat dan faktor bentuk dari plat dan pipanya.

2.8.2.1 Properti Radiasi Gabungan antara Kaca dan Plat Penyerap

Radiasi yang menembus penutup semitransparan akan diteruskan sampai mengenai plat penyerap, dimana sebagian diserap dan sebagian lainnya dipantulkan kembali kearah penutup. Namun seluruh radiasi tidak hilang karena beberapa dipantulkan kembali ke plat penyerap.



Gambar 2.10 Penyebaran Radiasi pada Plat Bergelombang

Besarnya reflektansi penutup oleh radiasi difusi yang datang dari bawah sebesar:

$$\rho_d = 1 - \tau_r \quad (2.23)$$

Begitu seterusnya terjadi pemantulan radiasi sampai diperoleh besaran energi yang diserap.

$$(\tau\alpha) = \tau\alpha \sum_{n=0}^{\infty} [(1 - \alpha)\tau \rho_d]^n = \frac{\tau\alpha}{1 - (1 - \alpha)\rho_d} \quad (2.24)$$

Harga (τ) pada kenyataanya kira-kira lebih besar 1% dan harga τ dikali α , maka persamaan menjadi:

$$(\tau\alpha) \cong 1,01\tau\alpha \quad (2.25)$$

Persamaan ini dapat digunakan untuk mengestimasi transmittance-absorptance product.

2.8.2.2 Penyerapan Radiasi oleh Plat Bergelombang

Menurut J.A. Duffie dan W.A. Beckman, Solar Engineering of Thermal Process, John Wiley and Sons, mc, New Yorkm 1991, hal 230, radiasi surya yang tiba pada suatu permukaan terdiri dari tiga bagian, yaitu radiasi beam, difusi dan radiasi yang dipantulkan dari tanah. Oleh karena itu penyerapan radiasi, S pada kolektor surya plat bergelombang dapat dihitung secara terpisah menurut distribusinya.

$$S = I_b R_b + I_d (\tau\alpha) \frac{(1 + \cos\beta)}{2} + \frac{\rho (\tau\alpha)[I_b + I_d(1 - \cos\beta)]}{2} \quad (2.26)$$

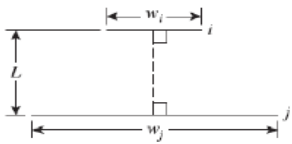
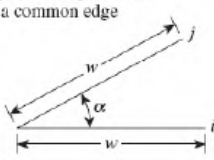
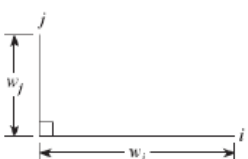
Berdasarkan pengertian dan produk transmitansi-absorptansi diatas, maka jumlah radiasi datang I_T pada permukaan, intensitas matahari diserap oleh kolektor surya plat adalah sebesar:

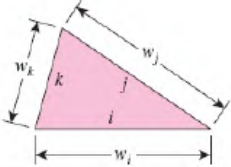
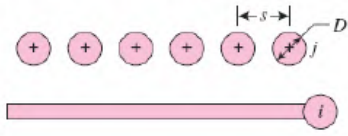
$$S = (\tau\alpha)_{av} I_T \quad (2.27)$$

2.8.2.3 Faktor Bentuk pada Radiasi Pantulan

Bila terdapat dua benda permukaan hitam A1 dan A2 yang berlainan suhu terjadi pertukaran kalor diantara keduanya. Untuk menentukan jumlah energi yang dipindahkan dapat digunakan faktor bentuk radiasi (radiation shape factor). Nama lain untuk faktor bentuk adalah *view factor*. Berikut adalah contoh faktor bentuk pada proyeksi dua dimensi.

Tabel 2.1 Faktor Bentuk pada Radiasi Pantulan

GEOMETRY (2D)	RELATION
<p>Parallel plates with midlines connected by perpendicular line</p> 	$W_i = w_i/L \text{ and } W_j = w_j/L$ $F_{i \rightarrow j} = \frac{[(W_i + W_j)^2 + 4]^{1/2} - (W_i - W_j)^2 + 4]^{1/2}}{2W_i}$
<p>Inclined plates of equal width and with a common edge</p> 	$F_{i \rightarrow j} = 1 - \sin \frac{1}{2} \alpha$
<p>Perpendicular plates with a common edge</p> 	$F_{i \rightarrow j} = \frac{1}{2} \left\{ 1 + \frac{w_j}{w_i} - \left[1 + \left(\frac{w_j}{w_i} \right)^2 \right]^{1/2} \right\}$

<p>Three-sided enclosure</p> 	$F_{i \rightarrow j} = \frac{w_i + w_j - w_k}{2w_i}$
<p>Infinite plane and row of cylinders</p> 	$F_{i \rightarrow j} = 1 - \left[1 - \left(\frac{D}{s} \right)^2 \right]^{1/2} + \frac{D}{s} \tan^{-1} \left(\frac{s^2 - D^2}{D^2} \right)^{1/2}$

2.8.3 Keseimbangan Energi pada Kolektor Surya Plat Bergelombang

Sejumlah fluks energi radiasi yang datang pada suatu kolektor akan diserap oleh pipa secara langsung (radiasi langsung) dan sebagian diserap plat yang nantinya akan dipantulkan ke pipa (pantulan). Energi panas yang hilang pada kolektor dinyatakan dengan total kehilangan panas (U_L) dikalikan dengan selisih antara temperatur pipa rata-rata dengan temperatur *ambient air* atau temperatur lingkungan sekitar.

Sementara untuk radiasi pantulan dari plat ke pipa, dipengaruhi oleh faktor bentuk (F_{ij}) antara plat dan pipa dan dikalikan dengan rumus radiasi. Jumlah energi berguna dengan luasan kolektor energi sebagai berikut:

$$Q_u = A_p [S - U_L (T_{pm} - T_a)] + [F_{ij} \varepsilon \sigma A (T_{pl}^4 - T_{pm}^4)] \quad (2.28)$$

2.9 Isolator Panas

Insulasi termal (isolasi panas) adalah metode atau proses yang digunakan untuk mengurangi laju perpindahan panas/kalor. Panas atau energi panas (kalor) bisa dipindahkan

dengan cara konduksi, konveksi, dan radiasi atau ketika terjadi perubahan wujud. Mengenai insulasi termal, hanya dibicarakan perpindahan panas secara konduksi, konveksi, dan radiasi. Aliran panas dapat dikendalikan dengan proses ini, tergantung pada sifat material yang dipergunakan. Bahan yang digunakan untuk mengurangi laju perpindahan panas itu disebut isolator atau insulator. Panas dapat lolos meskipun ada upaya untuk menutupinya, tapi isolator mengurangi panas yang lolos tersebut.

Isolasi termal dapat menjaga wilayah tertutup seperti bangunan atau tubuh agar terasa hangat lebih lama dari yang sewajarnya, tetapi itu tidak mencegah hasil akhirnya, yaitu masuknya dingin dan keluarnya panas. Isolator juga dapat bekerja sebaliknya, yaitu menjaga bagian dalam suatu wadah terasa dingin lebih lama dari biasanya. Insulator digunakan untuk memperkecil perpindahan energi panas.

Kemampuan insulasi suatu bahan diukur dengan konduktivitas termal (k). Konduktivitas termal yang rendah setara dengan kemampuan insulasi (resistansi termal atau nilai R) yang tinggi. Dalam teknik termal, sifat-sifat lain suatu bahan insulator atau isolator adalah densitas (ρ) dan kapasitas panas spesifik (c).

Bahan dengan konduktivitas termal (k) rendah menurunkan laju aliran panas. Jika nilai k lebih kecil, value, maka nilai resistansi termal yang berkaitan (R) akan lebih besar. Konduktivitas termal diukur dengan satuan watt-per-meter per Kelvin ($\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$), dilambangkan dengan k . Semakin tebal bahan insulator, semakin tinggi pula resistansi termal atau nilai R bahan itu. Contoh isolator yang baik dan paling mudah didapat adalah glasswool dan karung goni



Gambar 2.11 Glass Wool Sebagai Isolator Panas

2.9 Alat Ukur Temperatur

Pada proses perhitungan energi berguna, dibutuhkan dua data yang merupakan bagian dari variabel perhitungan kerugian daya radiasi, yaitu selisih antara temperatur plat dan pipa. Oleh karena itu, digunakan termometer dalam proses pengukurannya.

2.9.1 Thermometer Infrared



Gambar 2.12 Infrared Thermometer

Infrared Thermometer memberikan kemampuan untuk mendeteksi suhu secara optik selama objek diamati, radiasi energi sinar inframerah diukur, dan disajikan sebagai suhu. Termometer ini menawarkan metode yang cepat dan akurat dalam pengukuran suhu dengan objek dari kejauhan serta tanpa harus disentuh.

Prinsip dasar dari termometer inframerah ialah bahwa seluruh obyek yang memancarkan energi infra merah yang semakin panas, maka molekulnya semakin aktif serta semakin banyak energi infra merah yang akan dipancarkan.

Cara penggunaan termometer inframerah ini ialah hanya dengan mengarahkannya saja ke objek yang hendak diukur suhunya, maka termometer jenis ini akan membaca suhu objek tersebut. Infrared Thermometer umumnya Asmat berguna dalam pengukuran dapur tinggi atau furnace dalam industri peleburan ataupun yang suhu permukaannya tak memungkinkan untuk disentuh serta untuk penggunaan umum yang lainnya, semisal:

- Mengukur suhu benda-benda yang bergerak, semisal : Conveyor, Mesin, dll.
- Mengukur suhu benda yang berbahaya, semisal : jarak yang tinggi, tegangan tinggi, serta sulit untuk dijangkau, dll.
- Mendeteksi suhu tubuh makhluk hidup, semisal manusia, hewan, dll.
- Mengukur suhu yang terlalu tinggi serta sulit didekati ataupun sulit disentuh, contohnya : Furnace, thermocouple, dll.
- Mendeteksi awan untuk sistem pengoperasian teleskop jarak jauh.
- Memeriksa suhu pemanas atau oven, yang bertujuan untuk kontrol serta kalibrasi.
- Memeriksa peralatan mekanika ataupun kotak sakering listrik ataupun saluran hotspot.

- Memonitor proses pendinginan ataupun pemanasan material, yang bertujuan untuk penelitian serta pengembangan ataupun quality control pada manufaktur.
- Mendeteksi titik api atau menunjukkan diagnosa terhadap produksi papan rangkaian listrik.
- Memeriksa titik api bagi pemadam kebakaran.

2.9.2 Termokopel



Gambar 2.13 Termokopel

Prinsip kerja Termokopel cukup mudah dan sederhana. Pada dasarnya Termokopel hanya terdiri dari dua kawat logam konduktor yang berbeda jenis dan digabungkan ujungnya. Satu jenis logam konduktor yang terdapat pada Termokopel akan berfungsi sebagai referensi dengan suhu konstan (tetap) sedangkan yang satunya lagi sebagai logam konduktor yang mendeteksi suhu panas.

Termokopel (Thermocouple)



Gambar 2.14 Cara Kerja Termokopel

Berdasarkan Gambar diatas, ketika kedua persimpangan atau Junction memiliki suhu yang sama, maka beda potensial atau tegangan listrik yang melalui dua persimpangan tersebut adalah “NOL” atau $V_1 = V_2$. Akan tetapi, ketika persimpangan yang terhubung dalam rangkaian diberikan suhu panas atau dihubungkan ke obyek pengukuran, maka akan terjadi perbedaan suhu diantara dua persimpangan tersebut yang kemudian menghasilkan tegangan listrik yang nilainya sebanding dengan suhu panas yang diterimanya atau $V_1 - V_2$. Tegangan Listrik yang ditimbulkan ini pada umumnya sekitar $1 \mu V - 70 \mu V$ pada tiap derajat Celcius. Tegangan tersebut kemudian dikonversikan sesuai dengan Tabel referensi yang telah ditetapkan sehingga menghasilkan pengukuran yang dapat dimengerti oleh kita.

BAB III METODOLOGI

Pada bab ini menjelaskan mengenai prosedur pembuatan alat pemanas air tenaga surya sederhana. Beberapa tahapan didasarkan dan divariasikan berdasarkan referensi dari literatur dan tugas akhir yang telah dibuat sebelumnya. Prosedur penyusunan tugas akhir ini dapat dijelaskan sebagai berikut :

3.1 Persiapan Awal

1. Penentuan tema awal tugas akhir mengenai “Rancang Bangun Pemanas Air Tenaga Surya Menggunakan Kolektor Surya Plat Bergelombang”
2. Pengajuan tema serta permohonan persetujuan kepada dosen pembimbing tugas akhir.

Selanjutnya, kegiatan pendukung proses persiapan adalah sebagai berikut :

1. Membaca dan mencari referensi mengenai pemanas air tenaga surya.
2. Asistensi ke dosen pembimbing Tugas akhir

3.2 Kriteria Perencanaan

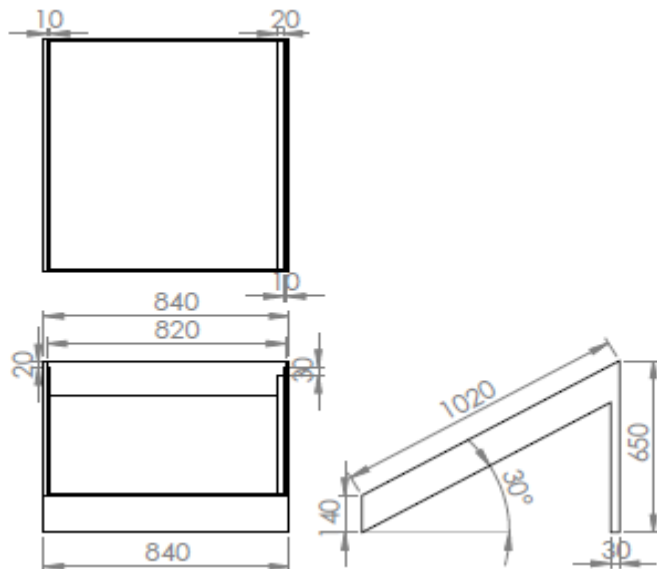
Perencanaan sistem pemanas air tenaga surya ini mengacu pada pertimbangan faktor-faktor berikut:

- a. Menggunakan sistem sesederhana mungkin (tepat guna).
- b. Dapat dikerjakan dengan teknologi sederhana.
- c. Menggunakan material-material yang mudah didapat.
- d. Mudah dioperasikan.
- e. Biaya pembuatan yang murah.
- f. Perawatan mudah dan murah.

3.2.1 Kolektor Surya Plat Bergelombang

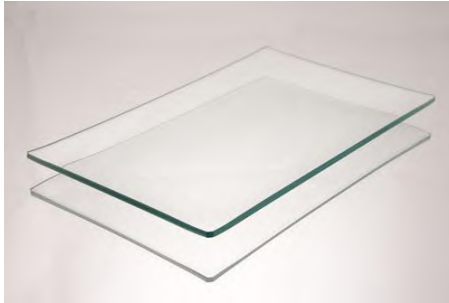
Kolektor Surya berfungsi untuk mengumpulkan energi yang berasal dari radiasi matahari dan memantulkan energi kalor tersebut ke pipa besi yang telah dialiri oleh air. Konstruksi dari kolektor surya plat bergelombang yang digunakan terdiri dari:

- a. Casing Luar, berfungsi sebagai wadah untuk meletakkan plat kolektor, kaca, pipa besi dan glasswool. Casing terbuat dari kayu.



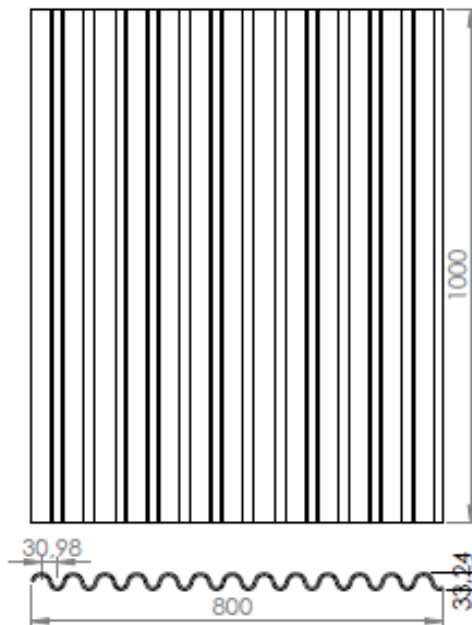
Gambar 3.1 Casing Luar Kolektor Surya

- b. Penutup Transparan, terbuat dari kaca yang dapat meneruskan sebagian besar energi radiasi matahari. Berfungsi untuk meneruskan radiasi matahari ke plat bergelombang dan mengurangi kehilangan panas konveksi dan radiasi keluar ke lingkungan.



Gambar 3.2 Kaca sebagai Penutup Transparan

- c. Plat Kolektor, berfungsi untuk menyerap energi radiasi matahari dan memantulkannya ke pipa besi. Bahan plat yang digunakan adalah seng. Permukaan plat dicat hitam untuk meningkatkan daya serap dari plat.



Gambar 3.3 Plat Kolektor

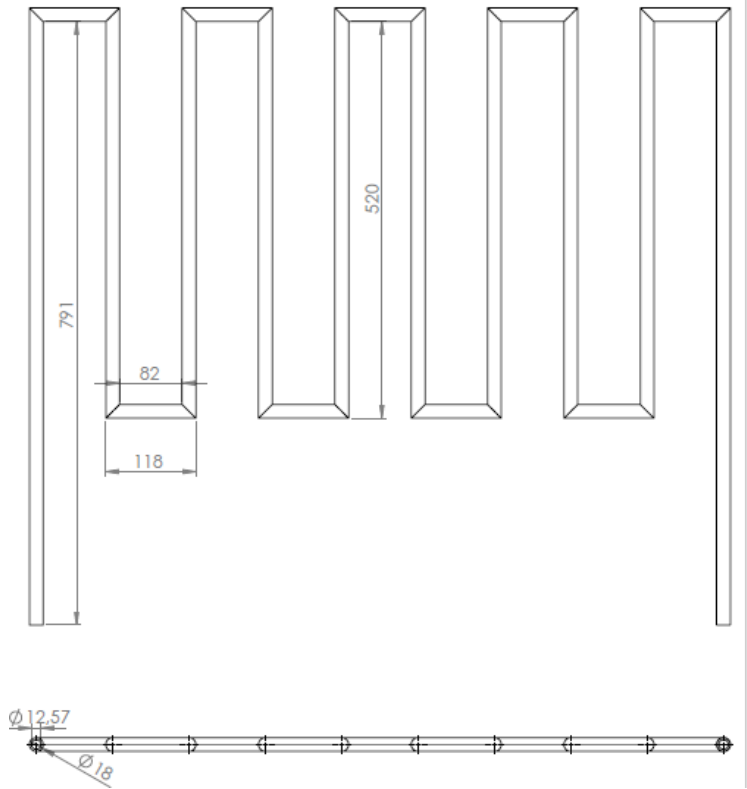
- d. Insulator, terbuat dari glass wool yang diletakkan dibawah plat bergelombang dan karung goni untuk melapisi drum penampung. Glass wool berfungsi untuk meminimalisir kehilangan panas pada bagian bawah kolektor. Karung goni untuk meminimalisir kehilangan panas dari drum penampung air ke lingkungan.



Gambar 3.4 Glass Wool dan Karung Goni sebagai Insulator

3.2.2 Instalasi Perpipaan

- a. Perpipaan didalam kolektor surya, pipa terbuat dari besi yang berfungsi sebagai konduktor panas dan meneruskannya ke air yang melalui pipa.



Gambar 3.5 Pipa Besi

- b. Perpipaan diluar kolektor surya, pipa terbuat dari PVC, berfungsi untuk menyalurkan air dari dan menuju drum penampungan air.



(a)



(b)

Gambar 3.6 Instalasi Pipa PVC bagian atas (a) dan bagian bawah (b)

3.2.3 Drum Penampung Air

Drum Penampung air terbuat dari plastik, drum diisi air dengan kapasitas 60 Liter.



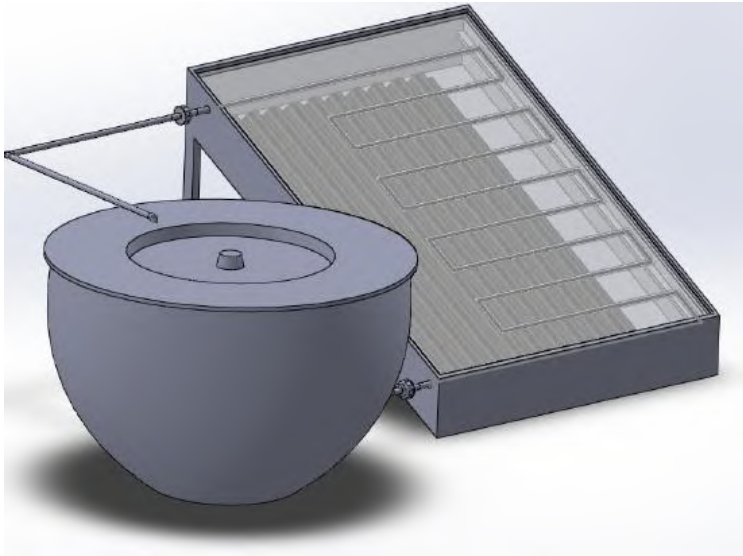
Gambar 3.7 Drum Penampung Air

3.2.4 Pompa

Pompa air berfungsi untuk mensirkulasikan air dalam sistem pemanas air tenaga matahari. pompa yang digunakan adalah pompa jenis submersible berkapasitas 1500 Liter/jam.

3.3 Penentuan Dimensi

- a. Dimensi yang terdapat pada kolektor surya:
 - Kaca bening (clear glass) dengan tebal 5 mm.
Panjang kaca : 100 cm
Lebar kaca : 82 cm
 - Plat kolektor (seng bergelombang).
Panjang plat : 100 cm
Lebar plat : 80 cm
 - Casing luar (papan kayu) dengan tebal 3 cm.
Panjang casing luar : 104 cm
Lebar casing luar : 84 cm
Tinggi casing luar : 14 cm
 - Insulator (glass wool) dengan tebal 3 cm.
 - Jarak antara kaca dengan plat kolektor:
 - Sudut kemiringan Kolektor: 30°
- b. Dimensi pipa besi dalam kolektor surya
 - Diameter : 0,5 dim
 - Jumlah laluan : 10



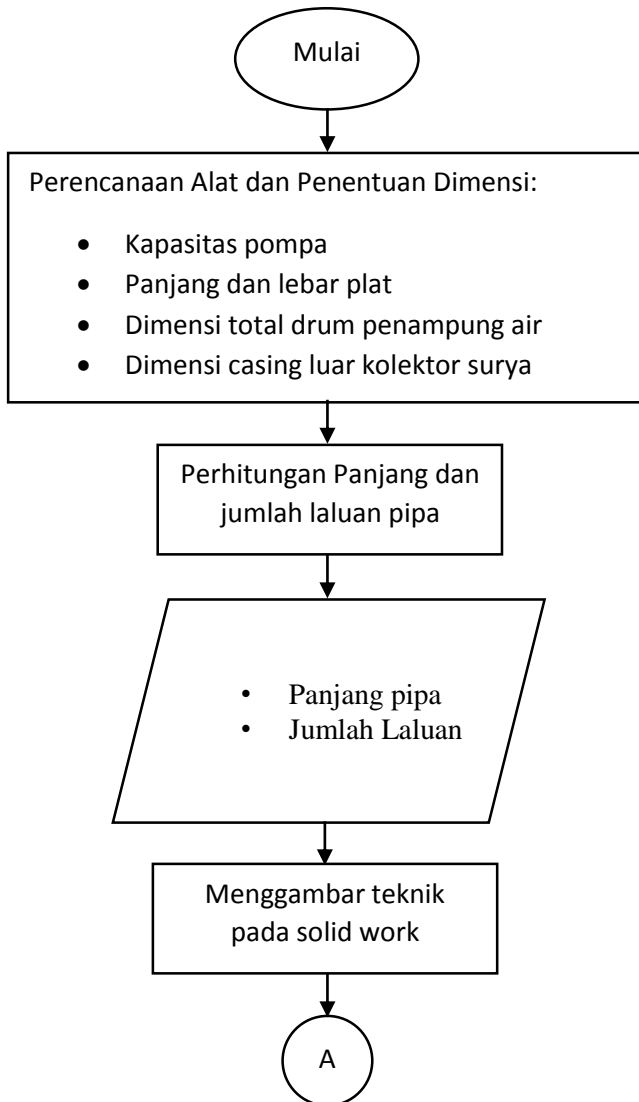
Gambar 3.8 Pemanas Air Tenaga Surya

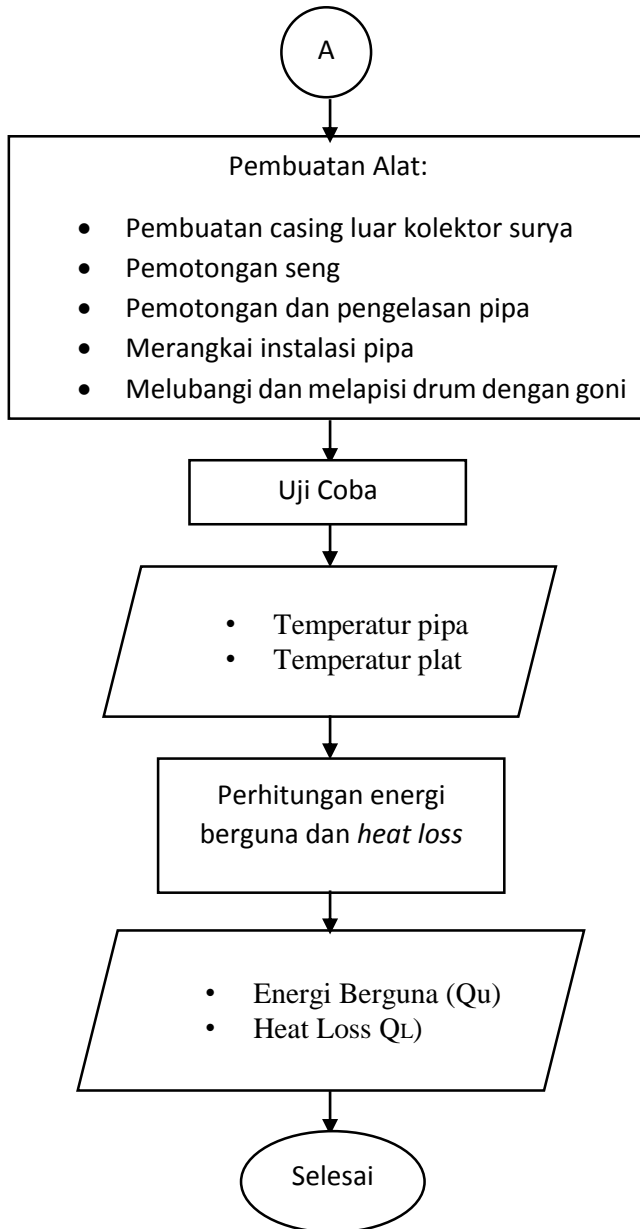
3.4 Prosedur Pembuatan Alat

1. Penentuan kapasitas pompa yang akan digunakan untuk mengalirkan air.
2. Menghitung panjang pipa dan laluan yang akan digunakan didalam kolektor surya.
3. Menggambar design kolektor surya yang diinginkan pada software solid work
4. Pembelian bahan: seng gelombang, kaca, glasswool, karung goni, pipa besi, pipa pvc, aksesoris pipa pvc, cat hitam, benang
5. Pemotongan seng sesuai dengan dimensi.
6. Membuat casing luar (dari papan kayu) sesuai dengan gambar dan dimensi yang telah ditentukan.
7. Pemotongan dan pengelasan pipa agar menjadi satu kesatuan sesuai dengan perhitungan yang telah dikerjakan.

8. Cat plat bergelombang dan pipa dengan warna hitam untuk mengoptimalkan penyerapan panas.
9. Tahap assembly:
 - Susun glass wool dibagian paling bawah casing.
 - Letakkan plat bergelombang diatas glasswool.
 - Masukkan pipa kedalam lubang samping casing dan sandarkan pada batasan casing yang telah dibuat.
 - Tutup bagian atas casing dengan kaca.
10. Susun rangkaian pipa diluar kolektor surya menggunakan pipa PVC dan aksesoris perpipaan lainnya.
11. Melapisi drum penampung air dengan karung goni dan lubangi bagian bawah drum sehingga pipa PVC dapat masuk melalui lubang.
12. Sambungkan instalasi perpipaan antara pipa besi dan pipa PVC, kemudian sambungkan dengan pompa yang berada didalam drum penampung air.
13. Lakukan pengujian untuk memastikan apakah pompa yang digunakan dapat mengalirkan air hingga keluar dari instalasi pipa yang telah dibuat.
14. Pengambilan data temperatur , pipa dan plat.
15. Perhitungan Energi Berguna (Q_u) dan *Heat Loss* (Q_L)

3.5 Diagram Alir Tugas Akhir





BAB IV

ANALISA PERHITUNGAN

4.1 Perhitungan Panjang Pipa (l_p)

Dengan kapasitas pompa $1500 L/jam = 0,000416 m^3/s$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2}$$
$$v = \frac{4 \cdot (0,000416 m^3)}{3,14 \cdot (0,0127 m)^2}$$
$$v = 3,28 m/s$$

$l_p = v \cdot t$ (sekon dalam satu siklus, ditentukan 1 siklus = 2 sekon)

$$l_p = 3,28 m/s \times 2 s$$

$$l_p = 6,57 meter$$

Dengan memperhatikan dimensi kolektor surya (104cm x 84cm), maka 6,57 meter pipa dibagi menjadi 10 laluan.

4.2 Analisa Intensitas Radiasi Matahari

Intensitas radiasi matahari diambil berdasarkan letak geografis serta pada waktu tertentu. Percobaan ini dilakukan dengan kondisi:

- Pengamatan dilakukan di kampus D3 Teknik Mesin ITS pada 17 Mei 2016 (n=137), dengan kisaran waktu antara pukul 08.00 – 16.00 WIB.
- Letak geografis berada pada 7 LS dan 112,8 BT diambil dari data geografis letak ITS Surabaya, maka diketahui besar sudut latitude $\phi = -7^\circ$ (tanda negatif berarti posisi lokasi berada dibelahan bumi bagian selatan).

4.3 Analisa Sudut Jam Matahari

Diketahui besar sudut per jam matahari adalah 15° per jam, maka dapat dicari sudut jam matahari pengamatan dari pukul 10.00 – 16.00.

- $\omega_1 = -15^\circ (08.00 - 12.00) = -90^\circ$
 $\omega_2 = -15^\circ (12.00 - 16.00) = -45^\circ$
 $\omega_{rata-rata} = \frac{(-90^\circ - 45^\circ)}{2} = -67,5^\circ$
- Konstanta Matahari $G_{sc} = 1367 \frac{J}{m^2 s}$

Bumi dalam peredarannya mengitari matahari, berotasi pada sumbunya yang condong sebesar $23,45^\circ$ terhadap bidang eliptika. Kemiringan sumbu putar bumi ini menyebabkan adanya variasi sudut antara garis bumi-matahari terhadap bidang ekuator bumi setiap harinya. Sudut ini disebut sudut deklinasi matahari. Sudut deklinasi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\delta = 23,45 \sin\left(360 \frac{284-137}{365}\right)$$

$$\delta = 21,89^\circ \text{ (karena letaknya dibagian selatan ekuator, maka nilainya: } -21,89^\circ \text{)}$$

4.4 Analisa Sudut Datang Matahari

Sudut datang matahari dapat dicari dengan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \cos\theta &= (\sin\delta \sin\phi \cos\beta) - (\sin\delta \cos\phi \sin\beta \cos\gamma) \\ &+ (\cos\delta \cos\phi \cos\beta \cos\omega) + (\cos\delta \sin\phi \sin\beta \cos\gamma \cos\omega) \\ &+ (\cos\delta \sin\beta \sin\gamma \sin\omega) \\ \cos\theta &= [\sin(-21,89^\circ) \cdot \sin(-7^\circ) \cdot \cos(30^\circ)] \\ &- [\sin(-21,89^\circ) \cdot \cos(-7^\circ) \cdot \sin(30^\circ) \cdot \cos(180^\circ)] \\ &+ [\cos(-21,89^\circ) \cdot \cos(-7^\circ) \cdot \cos(30^\circ) \cdot \cos(-67,5^\circ)] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& [\cos(-128,89^\circ) \cdot \sin(-7^\circ) \cdot \sin(30^\circ) \cdot \cos(180^\circ) \cdot \cos(-67,5^\circ)] \\
& + [\cos(-21,89^\circ) \cdot \sin(30^\circ) \cdot \sin(180^\circ) \cdot \sin(-90^\circ)] \\
\cos\theta &= [0,045436] - [0,1850234] + [0,3052268] \\
& + [0,02163744] + [0] \\
\cos\theta &= 0,18118968
\end{aligned}$$

4.5 Sudut Datang Bidang Horizontal

Karena letaknya berada dibagian bumi selatan, sehingga:

$$\begin{aligned}
\cos\theta_z &= \cos(\Phi + \beta) \cdot \cos\delta \cdot \cos\omega + \sin(\Phi + \beta) \cdot \sin\delta \\
\cos\theta_z &= \cos(-7^\circ + 30^\circ) \cdot \cos(-21,89^\circ) \cdot \cos(-67,5^\circ) + \\
& \quad \sin(-7^\circ + 30^\circ) \cdot \sin(-21,89^\circ) \\
\cos\theta_z &= 0,18118968
\end{aligned}$$

4.6 Radiasi Matahari Extraterrestrial Bidang Horizontal

Besarnya sudut jam matahari terbenam:

$$\begin{aligned}
\cos\omega_s &= -\tan\Phi \cdot \tan\delta \\
\cos\omega_s &= -\tan(-7^\circ) \cdot \tan(-21,89^\circ) \\
\cos\omega_s &= -0,049334184 \\
\omega_s &= 92,83^\circ
\end{aligned}$$

Radiasi matahari harian selama matahari terbit sampai tenggelam dapat dicari dengan persamaan:

$$\begin{aligned}
H_o &= \frac{24 \times 3600}{\pi} G_{sc} \left[1 + 0,033 \cos\left(\frac{360n}{365}\right) \right] \\
& \quad \times \left[\cos\Phi \cos\delta \cos\omega + \frac{\pi \omega_s}{180} \sin\Phi \sin\delta \right] \\
H_o &= \frac{24 \times 3600}{3,14} \cdot (1367) \left[1 + 0,033 \cos\left(\frac{360 \cdot 137}{365}\right) \right] \\
& \quad \times \left[\cos(-7^\circ) \cdot \cos(-21,89^\circ) \cdot \cos(-67,5^\circ) \right. \\
& \quad \left. + \frac{3,14 \cdot 92,83}{180} \sin(-7^\circ) \cdot \sin(-21,89^\circ) \right] \\
H_o &= 12882261,18 \text{ J/m}^2\text{s}
\end{aligned}$$

Intensitas radiasi matahari ekstraterrestrial dihitung dengan persamaan berikut:

$$I_o = \frac{12 \times 3600}{\pi} G_{sc} \left[1 + 0,033 \cos \left(\frac{360n}{365} \right) \right] \times$$

$$[\cos \Phi \cos \delta (\sin \omega_2 - \sin \omega_1) + \frac{\pi (\omega_2 - \omega_1)}{180} \sin \Phi \sin \delta]$$

$$I_o = \frac{12 \times 3600}{\pi} \cdot (1367) \left[1 + 0,033 \cos \left(\frac{360 \cdot 137}{365} \right) \right] \times$$

$$\left[\cos(-7^\circ) \cdot \cos(-21,89^\circ) \cdot (\sin(-45^\circ) - \sin(-90^\circ)) \right.$$

$$\left. + \frac{\pi (-45^\circ + 90^\circ)}{180} \sin(-7^\circ) \sin(-21,89^\circ) \right]$$

$$I_o = 4929827,931 \text{ J/m}^2\text{s}$$

4.7 Intensitas Matahari Langsung dan Intensitas Matahari Difuse

Intensitas matahari yang melewati atmosfer terbagi menjadi dua, yaitu intensitas yang secara langsung diteruskan menuju ke kolektor dan intensitas yang diteruskan ke kolektor melalui sebaran radiasi matahari di atmosfer (difuse).

4.7.1 Intensitas Matahari Langsung (I_b)

Besar intensitas matahari langsung (I_b) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$I_b = H_0 \cdot (1 - k)$$

K merupakan perbandingan intensitas radiasi matahari ekstraterrestrial (I_o) dengan intensitas radiasi total yang diterima permukaan (H_0) yang dapat dirumuskan sebagai:

$$k = \frac{I_o}{H_0}$$

$$k = \frac{4929827,931}{12882261,18}$$

$$k = 0,382683432$$

Sehingga:

$$I_b = 12882261,18 \cdot (1 - 0,382683432)$$

$$I_b = 7952433,149 \text{ J/m}^2\text{s}$$

4.7.2 Intensitas Matahari Diffuse (I_d)

$$I_d = H_0 - I_b$$

$$I_d = 12882261,18 - 7952433,149$$

$$I_d = 4929828,031 \text{ J/m}^2\text{s}$$

4.8 Intensitas Matahari Total yang Diterima oleh Permukaan Bumi (I_T)

Setelah melewati atmosfer, radiasi matahari akan diserap, diteruskan dan sebagian lagi dipantulkan. Dari ketiga pengaruh itu, akan didapatkan besarnya intensitas matahari total yang diterima oleh permukaan bumi, yaitu:

$$I_T = I_b R_b + I_d \left(\frac{1 + \cos\beta}{2} \right) + (I_b + I_d) \rho_g \left(\frac{1 - \cos\beta}{2} \right)$$

Dimana:

R_b adalah perbandingan sudut datang matahari (θ) dengan bidang horizontal (θ_z)

$$R_b = \frac{\cos\theta}{\cos\theta_z}$$

$$R_b = \frac{0,18727684}{0,18118968}$$

$$R_b = 1,03359551$$

ρ adalah pantulan dari tanah, bernilai 0,2 β adalah sudut kemiringan kolektor terhadap bidang horizontal. sehingga I_T dapat dicari dengan persamaan:

$$I_T = I_b R_b + I_d \left(\frac{1 + \cos \beta}{2} \right) + (I_b + I_d) \rho_g \left(\frac{1 - \cos \beta}{2} \right)$$

$$I_T = [7952433,149 \cdot 1,03359551]$$

$$+ \left[4929828,031 \left(\frac{1 + \cos(30)}{2} \right) \right] + \left[0,2 \left(\frac{1 - \cos(30)}{2} \right) \right]$$

$$I_T = 13680431,7598199 \text{ J/m}^2 \text{ s}$$

4.9 Data Hasil Percobaan

- Percobaan I

Tabel 4.1 Temperatur Pipa pada Percobaan I

jam	temperature pipa (°C)					
	1	2	3	4	5	rata-rata
8	43	43	43	44	44	43,4
9	51	52	59	51	52	53
10	78	65	64	59	78	68,8
11	78	73	67	72	78	73,6
12	80	71	75	77	80	76,6
13	64	66	67	64	66	65,4
14	58	57	58	57	57	57,4
$T_{\text{pipa rata-rata}}$						56,867

Tabel 4.2 Temperatur Plat pada Percobaan I

jam	temperature plat (°C)					
	1	2	3	4	5	rata-rata
8	63	63	63	59	60	61,6
9	62	61	59	61	62	61
10	74	72	71	75	74	73,2
11	73	79	80	79	79	78
12	76	80	79	73	76	76,8
13	76	71	68	76	71	72,4
14	60	61	58	60	61	60
T_{plat} rata – rata						63,223

- **Percobaan Kedua**

Tabel 4.3 Temperatur Pipa pada Percobaan II

jam	temperature pipa (°C)					
	1	2	3	4	5	rata-rata
8	43	43	43	44	44	43,4
9	51	52	59	51	52	53
10	60	57	59	59	55	58
11	65	66	63	70	70	66,8
12	68	66	72	64	68	67,6
13	50	50	49	49	50	49,6
14	61	66	64	52	57	60
T_{pipa} rata – rata						54,889

Tabel 4.4 Temperatur Plat pada Percobaan II

jam	temperature plat (°C)					
	1	2	3	4	5	rata-rata
8	63	63	63	59	60	61,6
9	62	61	59	61	62	61
10	63	63	65	61	68	64
11	66	71	72	66	69	68,8
12	72	73	66	73	68	70,4
13	69	64	75	65	64	67,4
14	61	59	62	58	61	60,2
$T_{plat} \text{ rata - rata}$						61,956

4.10 Intensitas Radiasi Matahari yang Diterima oleh Plat Absorber Kolektor (S)

Intensitas radiasi matahari yang diterima oleh plat absorber kolektor yang sangat dipengaruhi oleh besarnya transmisivitas, absorpsivitas dan reflektivitas bahan untuk plat dan cover. Dengan data rancangan kolektor sebagai berikut:

- Bahan cover adalah kaca transparan dengan $\tau_g = 0,64$ dan $\rho_g = 0,03$
- Bahan absorber adalah seng bergelombang yang dicat hitam dengan $\alpha = 0,97$

$$S = \tau_g \cdot \rho_g \cdot \alpha_p \cdot I_T$$

$$S = (0,64) \cdot (0,03) \cdot (0,97) \cdot (13680431,7598199)$$

$$S = 254784,361 \text{ J/m}^2\text{s}$$

4.10.1 Koefisien Perpindahan Panas Radiasi dari Kaca ke Udara

$$hr_{g-atm} = \sigma \cdot \varepsilon_g \cdot (T_g + T_{atm}) \cdot (T_g^2 + T_{atm}^2)$$

$$hr_{g-atm} = (5,67 \times 10^{-8}) \cdot (0,9)(311 + 304,5) \cdot (311^2 + 304,5^2)$$

$$hr_{g-atm} = 5,993487227 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$R_1 = \frac{1}{5,993487227}$$

$$R_1 = 0,166847773 \text{ m}^2\text{K/W}$$

4.10.2 Koefisien Perpindahan Panas Radiasi dari Plat ke Kaca

$$hr_{p-g} = \sigma \cdot \frac{(T_p + T_g) \cdot (T_p^2 + T_g^2)}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_g} - 1}$$

$$hr_{p-g} = 5,67 \times 10^{-8} \cdot \frac{(329,87 + 311) \cdot (329,87^2 + 311^2)}{\frac{1}{0,98} + \frac{1}{0,9} - 1}$$

$$hr_{p-g} = 7,433703689 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$R_2 = \frac{1}{7,433703689}$$

$$R_2 = 0,134522445 \text{ m}^2\text{K/W}$$

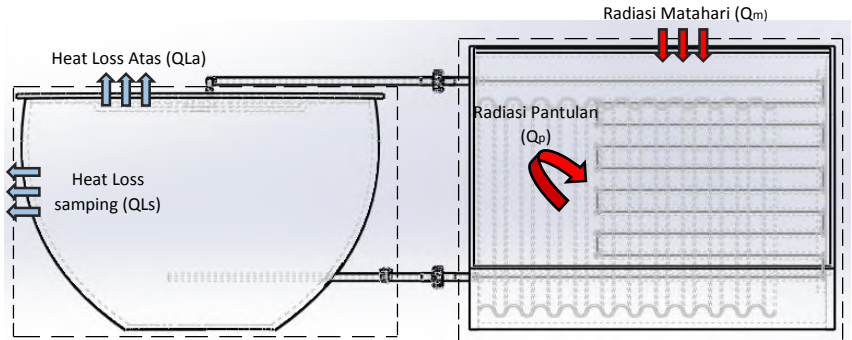
4.10.3 Perhitungan Koefisien Kehilangan Perpindahan Panas Total pada Kolektor Surya

$$u_L = \frac{1}{R_1 + R_2}$$

$$u_L = \frac{1}{0,166847773 + 0,134522445}$$

$$u_L = 3,31817791 \text{ W/m}^2\text{K}$$

4.11 Perhitungan Energi Berguna (Q_u) dan Heat Loss (Q_L)

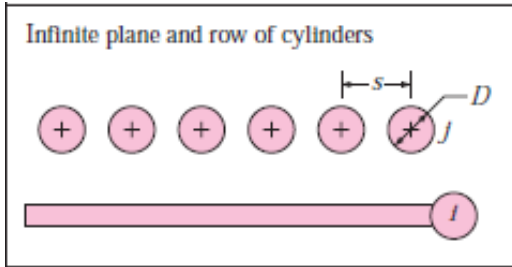


Gambar 4.1 Kontrol Volume pada Alat Pemanas Air

Energi Berguna pada kolektor surya berasal dari radiasi matahari langsung (Q_m) dan radiasi pantulan yang berasal dari plat (Q_p) dengan asumsi konveksi keluar lingkungan diabaikan. Sementara *heat loss* hanya terjadi pada drum penampung air. Dimana, sesuai bentuk laluan panasnya, *heat loss* dibagi menjadi dua, yaitu *heat loss* yang melalui tutup drum dan yang melalui dinding samping drum.

4.11.1 Perhitungan Energi Berguna (Q_u)

Untuk menghitung radiasi pantulan (Q_p) perlu dihitung pula faktor bentuk antara plat dengan pipa. Berikut adalah faktor bentuk yang digunakan:



Gambar 4.2 Faktor Bentuk pada Kolektor

Diketahui: $D_{\text{pipa}} = 0,018$ meter dan $S = 0,102$ meter, maka perhitungan faktor bentuk adalah:

$$F_{ij} = 1 - [1 - (D/S)^{0,5} + (D/S) \tan^{-1}(S^2 - D^2/D_2)^{0,5}]$$

$$F_{ij} = 1 - [1 - (0,018/0,102)^{0,5} + (0,018/0,102) \tan^{-1}(0,102^2 - 0,018^2/0,018^2)^{0,5}]$$

$$F_{ij} = 1 - [0,984 + 0,178 \tan^{-1}(5,57)]$$

$$F_{ij} = 0,261$$

Luas permukaan pipa yang terkena raidasi langsung adalah pipa bagian atas ($1/2 A$) dan yang terkena radiasi pancaran adalah pipa bagian bawah ($1/2 A$) adalah:

$$A = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot D \cdot l_p = 3,14 \cdot 0,018 \cdot 6,57$$

$$A = 0,18565 \text{ m}^2$$

Dengan dihitungnya faktor bentuk dan luas permukaan pipa, maka energi berguna dapat dihitung sebagai berikut:

$$Q_u = Q_m + Q_p$$

$$Q_u = A [S - U_L(T_{pm} - T_a)] + [F_{ij} \varepsilon \sigma A (T_{pl}^4 - T_{pm}^4)]$$

$$Q_u = 0,18565 [254784,361 - 3,31817791(329,87 - 304,5)] + [0,261 \cdot 0,97 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 0,18565 (335,58^4 - 329,87^4)]$$

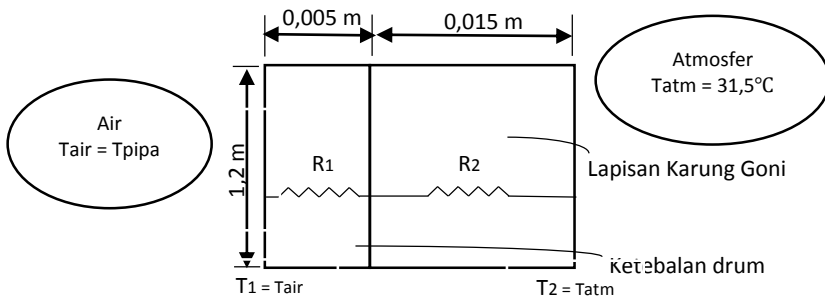
$$Q_u = [47285,0885] + [2,08]$$

$$Q_u = 47287,1685 \text{ J/s}$$

4.11.2 Perhitungan Heat Loss (Q_L)

Temperatur air saat heat loss berlangsung diasumsikan sama dengan temperatur pipa pada saat titik puncak (pukul 14.00), yaitu: $T_{air} = T_{pipa} = 62,5^\circ\text{C}$. Temperatur karung goni diasumsikan sama dengan temperatur atmosfer, yaitu $T_{goni} = 31,5^\circ\text{C}$.

Dari tabel A.3 *Thermophysical Properties of Matter*, nilai K dari bakelite (bahan drum penampung air) adalah 1.4 W/mK. Nilai K dari karung goni (asumsi karung goni = *mineral wool granul*) adalah 0,046 W/mK.



Gambar 4.3 Heat Loss pada Dinding Drum

Dengan demikian *heat loss* pada sisi dinding drum (Q_{LS}) dapat dihitung dengan cara:

$$\bullet \quad R_1 = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2 \pi K_1 L} = \frac{\ln(0,3025/0,3)}{2 \cdot 3,14 \cdot 1,4 \cdot 1,2}$$

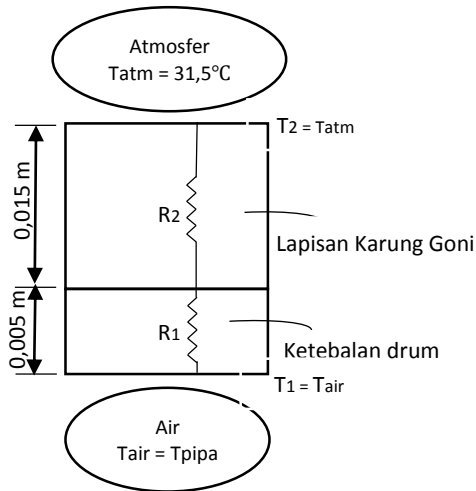
$$R_1 = 0,000786 \text{ K/W}$$

- $$R_2 = \frac{\ln(r_3/r_2)}{2 \pi K_2 L} = \frac{\ln(0,3075/0,3025)}{2 \cdot 3,14 \cdot 0,046 \cdot 1,2}$$

$$R_2 = 0,04729 \text{ K/W}$$
- $$Q_{LS} = \frac{\Delta T_{1,2}}{R_1 + R_2} = \frac{62,5 - 31,5}{0,000786 + 0,04729}$$

$$Q_{LS} = 644,8124 \text{ J/s}$$

Sementara untuk *heat loss* kearah atas drum penampung air (Q_{La}) dihitung dengan dimensi sebagai berikut:



Gambar 4.4 Heat Loss pada Bagian Tutup Atas Drum

- $$R_2 = \frac{L_1}{K_1 A_1} = \frac{0,005}{1,4 \cdot 0,471}$$

$$R_1 = 0,00758 \text{ K/W}$$
- $$R_2 = \frac{L_2}{K_2 A_2} = \frac{0,015}{0,046 \cdot 0,471}$$

$$R_2 = 0,69232 \text{ K/W}$$

$$\bullet \quad Q_{La} = \frac{\Delta T_{1,2}}{R_1 + R_2} = \frac{62,5 - 31,5}{0,00758 + 0,69232}$$

$$Q_{La} = 44,292 \text{ J/s}$$

Maka *heat loss* total yang terjadi pada drum penampung air adalah:

$$Q_L = Q_{Ls} + Q_{La}$$

$$Q_L = 644,8124 + 44,292$$

$$Q_L = 689,1044 \text{ J/s}$$

LAMPIRAN

Lampiran 1 : Tabel Konversi

TABLE A.1 Conversion Factors		
Area		
$1 \text{ mm}^2 = 1.0 \times 10^{-6} \text{ m}^2$	$1 \text{ ft}^2 = 144 \text{ in.}^2$	
$1 \text{ cm}^2 = 1.0 \times 10^{-4} \text{ m}^2 = 0.1550 \text{ in.}^2$	$1 \text{ in.}^2 = 6.4516 \text{ cm}^2 = 6.4516 \times 10^{-4} \text{ m}^2$	
$1 \text{ m}^2 = 10.7639 \text{ ft}^2$	$1 \text{ ft}^2 = 0.092903 \text{ m}^2$	
Conductivity		
$1 \text{ W/m-K} = 1 \text{ J/s-m-K}$		
$= 0.577789 \text{ Btu/h-ft-R}$	$1 \text{ Btu/h-ft-R} = 1.730735 \text{ W/m-K}$	
Density		
$1 \text{ kg/m}^3 = 0.06242797 \text{ lbm/ft}^3$	$1 \text{ lbm/ft}^3 = 16.01846 \text{ kg/m}^3$	
$1 \text{ g/cm}^3 = 1000 \text{ kg/m}^3$		
$1 \text{ g/cm}^3 = 1 \text{ kg/L}$		
Energy		
$1 \text{ J} = 1 \text{ N-m} = 1 \text{ kg-m}^2/\text{s}^2$		
$1 \text{ J} = 0.737562 \text{ lbf-ft}$	$1 \text{ lbf-ft} = 1.355818 \text{ J}$	
$1 \text{ cal (Int.)} = 4.1868 \text{ J}$	$= 1.28507 \times 10^{-3} \text{ Btu}$	
	$1 \text{ Btu (Int.)} = 1.055056 \text{ kJ}$	
$1 \text{ erg} = 1.0 \times 10^{-7} \text{ J}$	$= 778.1693 \text{ lbf-ft}$	
$1 \text{ eV} = 1.60217733 \times 10^{-19} \text{ J}$		
Force		
$1 \text{ N} = 0.224809 \text{ lbf}$	$1 \text{ lbf} = 4.448222 \text{ N}$	
$1 \text{ kp} = 9.80665 \text{ N (1 kgf)}$		
Gravitation		
$g = 9.80665 \text{ m/s}^2$	$g = 32.17405 \text{ ft/s}^2$	
Heat capacity, specific entropy		
$1 \text{ kJ/kg-K} = 0.238846 \text{ Btu/lbm-R}$	$1 \text{ Btu/lbm-R} = 4.1868 \text{ kJ/kg-K}$	
Heat flux (per unit area)		
$1 \text{ W/m}^2 = 0.316998 \text{ Btu/h-ft}^2$	$1 \text{ Btu/h-ft}^2 = 3.15459 \text{ W/m}^2$	
Heat transfer coefficient		
$1 \text{ W/m}^2\text{-K} = 0.17611 \text{ Btu/h-ft}^2\text{-R}$	$1 \text{ Btu/h-ft}^2\text{-R} = 5.67826 \text{ W/m}^2\text{-K}$	
Length		
$1 \text{ mm} = 0.001 \text{ m} = 0.1 \text{ cm}$	$1 \text{ ft} = 12 \text{ in.}$	
$1 \text{ cm} = 0.01 \text{ m} = 10 \text{ mm} = 0.3937 \text{ in.}$	$1 \text{ in.} = 2.54 \text{ cm} = 0.0254 \text{ m}$	
$1 \text{ m} = 3.28084 \text{ ft} = 39.370 \text{ in.}$	$1 \text{ ft} = 0.3048 \text{ m}$	
$1 \text{ km} = 0.621371 \text{ mi}$	$1 \text{ mi} = 1.609344 \text{ km}$	
$1 \text{ mi} = 1609.3 \text{ m (US statute)}$	$1 \text{ yd} = 0.9144 \text{ m}$	

Sumber : Richard E. Sonntag, Claus Borgnakke
(FUNDAMENTALS OF THERMODYNAMIC 5th Edition)

Lampiran 2 : Lanjutan

TABLE A.1 (Continued) Conversion Factors		
Specific kinetic energy (V^2)		
$1 \text{ m}^2/\text{s}^2 = 0.001 \text{ kJ/kg}$	$1 \text{ ft}^2/\text{s}^2 = 3.9941 \times 10^{-5} \text{ Btu/lbm}$	
$1 \text{ kJ/kg} = 1000 \text{ m}^2/\text{s}^2$	$1 \text{ Btu/lbm} = 25037 \text{ ft}^2/\text{s}^2$	
Specific potential energy (Zg)		
$1 \text{ m} \cdot g_{\text{std}} = 9.80665 \times 10^{-3} \text{ kJ/kg}$	$1 \text{ ft} \cdot g_{\text{std}} = 1.0 \text{ lbf} \cdot \text{ft/lbm}$	
$= 4.21607 \times 10^{-3} \text{ Btu/lbm}$	$= 0.001285 \text{ Btu/lbm}$	
	$= 0.002989 \text{ kJ/kg}$	
Specific volume		
$1 \text{ cm}^3/\text{g} = 0.001 \text{ m}^3/\text{kg}$		
$1 \text{ cm}^3/\text{g} = 1 \text{ L/kg}$		
$1 \text{ m}^3/\text{kg} = 16.01846 \text{ ft}^3/\text{lbm}$	$1 \text{ ft}^3/\text{lbm} = 0.062428 \text{ m}^3/\text{kg}$	
Temperature		
$1 \text{ K} = 1^\circ\text{C} = 1.8 \text{ R} = 1.8 \text{ F}$	$1 \text{ R} = (5/9) \text{ K}$	
$\text{TC} = \text{TK} - 273.15$	$\text{TF} = \text{TR} - 459.67$	
$= (\text{TF} - 32)/1.8$	$= 1.8 \text{ TC} + 32$	
$\text{TK} = \text{TR}/1.8$	$\text{TR} = 1.8 \text{ TK}$	
Universal Gas Constant		
$R = N_0 k = 8.31451 \text{ kJ/kmol} \cdot \text{K}$	$R = 1.98589 \text{ Btu/lbmol} \cdot \text{R}$	
$= 1.98589 \text{ kcal/kmol} \cdot \text{K}$	$= 1545.36 \text{ lbf} \cdot \text{ft/lbmol} \cdot \text{R}$	
$= 82.0578 \text{ atm} \cdot \text{L/kmol} \cdot \text{K}$	$= 0.73024 \text{ atm} \cdot \text{ft}^3/\text{lbmol} \cdot \text{R}$	
	$= 10.7317 (\text{lbf/in.}^2) \cdot \text{ft}^3/\text{lbmol} \cdot \text{R}$	
Velocity		
$1 \text{ m/s} = 3.6 \text{ km/h}$	$1 \text{ ft/s} = 0.681818 \text{ mi/h}$	
$= 3.28084 \text{ ft/s}$	$= 0.3048 \text{ m/s}$	
$= 2.23694 \text{ mi/h}$	$= 1.09728 \text{ km/h}$	
$1 \text{ km/h} = 0.27778 \text{ m/s}$	$1 \text{ mi/h} = 1.46667 \text{ ft/s}$	
$= 0.91134 \text{ ft/s}$	$= 0.44704 \text{ m/s}$	
$= 0.62137 \text{ mi/h}$	$= 1.609344 \text{ km/h}$	
Volume		
$1 \text{ m}^3 = 35.3147 \text{ ft}^3$	$1 \text{ ft}^3 = 2.831685 \times 10^{-2} \text{ m}^3$	
$1 \text{ L} = 1 \text{ dm}^3 = 0.001 \text{ m}^3$	$1 \text{ in.}^3 = 1.6387 \times 10^{-5} \text{ m}^3$	
$1 \text{ Gal (US)} = 3.785412 \text{ L}$	$1 \text{ Gal (UK)} = 4.546090 \text{ L}$	
$= 3.785412 \times 10^{-3} \text{ m}^3$	$1 \text{ Gal (US)} = 231.00 \text{ in.}^3$	

Sumber : Richard E. Sonntag, Claus Borgnakke
(FUNDAMENTALS OF THERMODYNAMIC 5th Edition)

Lampiran 3 : Lanjutan

TABLE A.1 (Continued) Conversion Factors			
Mass			
1 kg	= 2.204 623 lbm	1 lbm	= 0.453 592 kg
1 tonne	= 1000 kg	1 slug	= 14.5939 kg
1 grain	= 6.47989×10^{-5} kg	1 ton	= 2000 lbm
Moment (torque)			
1 N-m	= 0.737 562 lbf-ft	1 lbf-ft	= 1.355 818 N-m
Momentum (mV)			
1 kg-m/s	= 7.232 94 lbm-ft/s = 0.224809 lbf-s	1 lbm-ft/s	= 0.138 256 kg-m/s
Power			
1 W	= 1 J/s = 1 N-m/s = 0.737 562 lbf-ft/s	1 lbf-ft/s	= 1.355 818 W = 4.626 24 Btu/h
1 kW	= 3412.14 Btu/h	1 Btu/s	= 1.055 056 kW
1 hp (metric)	= 0.735 499 kW	1 hp (UK)	= 0.7457 kW = 550 lbf-ft/s = 2544.43 Btu/h
1 ton of refrigeration	= 3.516 85 kW	1 ton of refrigeration	= 12 000 Btu/h
Pressure			
1 Pa	= 1 N/m ² = 1 kg/m-s ²	1 lbf/in. ²	= 6.894 757 kPa
1 bar	= 1.0×10^5 Pa = 100 kPa	1 atm	= 14.695 94 lbf/in. ² = 29.921 in. Hg [32 F] = 33.899 5 ft H ₂ O [4°C]
1 atm	= 101.325 kPa = 1.01325 bar = 760 mm Hg [0°C] = 10.332 56 m H ₂ O [4°C]	1 in. Hg [0°C]	= 0.49115 lbf/in. ²
1 torr	= 1 mm Hg [0°C]	1 in. H ₂ O [4°C]	= 0.036126 lbf/in. ²
1 mm Hg [0°C]	= 0.133 322 kPa		
1 m H ₂ O [4°C]	= 9.806 38 kPa		
Specific energy			
1 kJ/kg	= 0.42992 Btu/lbm = 334.55 lbf-ft/lbm	1 Btu/lbm	= 2.326 kJ/kg
		1 lbf-ft/lbm	= 2.98907×10^{-3} kJ/kg = 1.28507×10^{-3} Btu/lbm

Sumber : Richard E. Sonntag, Claus Borgnakke
(FUNDAMENTALS OF THERMODYNAMIC 5th Edition)

Lampiran 4 : Tabel APPENDIXA *Thermophysical Properties of Matter*

TABLE A.3 *Continued*

Other Materials

Description/ Composition	Temperature (K)	Density, ρ (kg/m ³)	Thermal Conductivity, k (W/m · K)	Specific Heat, c_p (J/kg · K)
Asphalt	300	2115	0.062	920
Bakelite	300	1300	1.4	1465
Brick, refractory				
Carborundum	872	—	18.5	—
	1672	—	11.0	—
Chrome brick	473	3010	2.3	835
	823		2.5	
	1173		2.0	
Diatomaceous silica, fired	478	—	0.25	—
	1145	—	0.30	
Fireclay, burnt 1600 K	773	2050	1.0	960
	1073	—	1.1	
	1373	—	1.1	
Fireclay, burnt 1725 K	773	2325	1.3	960
	1073		1.4	
	1373		1.4	
Fireclay brick	478	2645	1.0	960
	922		1.5	
	1478		1.8	
Magnesite	478	—	3.8	1130
	922	—	2.8	
	1478		1.9	
Clay	300	1460	1.3	880
Coal, anthracite	300	1350	0.26	1260
Concrete (stone mix)	300	2300	1.4	880
Cotton	300	80	0.06	1300
Foodstuffs				
Banana (75.7% water content)	300	980	0.481	3350
Apple, red (75% water content)	300	840	0.513	3600
Cake, batter	300	720	0.223	—
Cake, fully baked	300	280	0.121	—
Chicken meat, white (74.4% water content)	198	—	1.60	—
	233	—	1.49	
	253		1.35	
	263		1.20	
	273		0.476	
	283		0.480	
	293		0.489	
Glass				
Plate (soda lime)	300	2500	1.4	750
Pyrex	300	2225	1.4	835

Sumber : Frank P. Incopera, David P. Dewitt
(*FUNDAMENTALS OF HEAT AND MASS TRANSFER*
7th Edition)

Lampiran 5 : Tabel APPENDIXA *Thermophysical Properties of Matter*

TABLE A.3 *Continued*

Insulating Materials and Systems

Description/Composition	Typical Properties at 300 K		
	Density, ρ (kg/m ³)	Thermal Conductivity, k (W/m · K)	Specific Heat, c_p (J/kg · K)
Blanket and Batt			
Glass fiber, paper faced	16	0.046	—
	28	0.038	—
	40	0.035	—
Glass fiber, coated; duct liner	32	0.038	835
Board and Slab			
Cellular glass	145	0.058	1000
Glass fiber, organic bonded	105	0.036	795
Polystyrene, expanded			
Extruded (R-12)	55	0.027	1210
Molded beads	16	0.040	1210
Mineral fiberboard; roofing material	265	0.049	—
Wood, shredded/cemented	350	0.087	1590
Cork	120	0.039	1800
Loose Fill			
Cork, granulated	160	0.045	—
Diatomaceous silica, coarse	350	0.069	—
Powder	400	0.091	—
Diatomaceous silica, fine powder	200	0.052	—
	275	0.061	—
Glass fiber, poured or blown	16	0.043	835
Vermiculite, flakes	80	0.068	835
	160	0.063	1000
Formed/Foamed-in-Place			
Mineral wool granules with asbestos/inorganic binders, sprayed	190	0.046	—
Polyvinyl acetate cork mastic; sprayed or troweled	—	0.100	—
Urethane, two-part mixture; rigid foam	70	0.026	1045
Reflective			
Aluminum foil separating fluffy glass mats; 10–12 layers; evacuated; for cryogenic applications (150 K)	40	0.00016	—
Aluminum foil and glass paper laminate; 75–150 layers; evacuated; for cryogenic application (150 K)	120	0.000017	—
Typical silica powder, evacuated	160	0.0017	—

Sumber : Frank P. Incopera, David P. Dewitt
(*FUNDAMENTALS OF HEAT AND MASS TRANSFER*
7th Edition)

